

ANALISIS PENYETELAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI SISTEM PROTEKSI UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS TRAFO 60 MVA DI GARDU INDUK PASIR PUTIH

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh:

FADHLILLAH BENEDICTO

11755100026

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2021

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PENYETELAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI SISTEM PROTEKSI UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS TRAFO 60 MVA DI GARDU INDUK PASIR PUTIH

TUGAS AKHIR

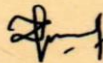
oleh:

FADHLILLAH BENEDICTO

11755100026

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 09 Agustus 2021

Ketua Program Studi



Digitally signed by
Zulfatri Aini
Tanggal: 2021.08.11
11:03:39 WIB

Dr. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing



Digitally
signed by
Liliana
Tanggal:
2021.08.09
18:44:26 WIB

Dr. Liliana, ST, M.Eng
NIP. 19781012 200312 2 004

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENYETELAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI SISTEM PROTEKSI UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS TRAFO 60 MVA DI GARDU INDUK PASIR PUTIH

TUGAS AKHIR

oleh:

FADHLILLAH BENEDICTO

1175510026

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 09 Agustus 2021

Pekanbaru, 09 Agustus 2021

Mengesahkan,



Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi

Digitally signed
by Zulfatri Aini
Tanggal:
2021.08.11
11:02:31 WIB

Dr. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Abdillah S.Si., MIT

Sekretaris : Dr. Liliana, ST., M.Eng

Penguji I : Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc

Penguji II : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc

Abdillah
Tanggal: 11-08-
2021 10:57:49

Digitally signed
by Liliana
Tanggal:
2021.08.09
19:24:02 WIB

Digitally signed
by Kunaifi
Tanggal:
2021.08.10
11:02:31 WIB

Digitally signed
by Nanda Putri
Miefthawati
Date: 2021.08.10
11:02:31 WIB

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.



1. Dilarang menyalin atau menggandakan Tugas Akhir ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan harus mengutip dengan benar, termasuk mengutip dari sumber yang dikutip.
 - b. Pengutipan tidak mengutip kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 10 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



FADHLILLAH BENEDICTO

NIM. 11755100026

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang meri...
 - a. Pengutipan...
 - b. Pengutipan tidak mengikis kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengumumk...
 - a. Dilarang mengumumk...
 - b. Dilarang mengumumk...
 - c. Dilarang mengumumk...

LEMBAR PERSEMBAHAN



“Dan sungguh manusia itu diciptakan dalam keadaan lemah”.

(Q.S An-Nisa' ayat: 2)

Sejatinya,

Bukan diri ini yang kuat, tapi...

Allah yang memudahkan

Bukan diri ini yang mampu, tapi...

Allah yang menolong

Bukan diri ini yang pandai, tapi...

Allah yang memberikan pemahaman.

Tanpa Allah...

Diri ini bukanlah siapa-siapa.

Diri ini tidak mampu apa-apa.

Diri ini tidak tahu apa-apa.

“Sungguh Allah tidak akan pernah mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mau mengubah keadaan diri mereka sendiri...”.

(Q.S Ar-Ra'd ayat: 11)

Demi pertemuan dengan-Nya...

Demi kerinduan kepada utusan-Nya...

Demi bakti kepada orang tua...

Demi manfaat kepada sesama...

Untuk itulah Tugas Akhir ini ditulis.

Semoga niat ini tetap lurus.

Semoga bermanfaat dan menjadi ibadah.

Semoga menjadi amal jariyah.

Aamiiin...

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan da

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALISIS PENYETELAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI SISTEM PROTEKSI UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS TRAFO 60 MVA DI GARDU INDUK PASIR PUTIH

FADHLILLAH BENEDICTO

NIM: 11755100026

Tanggal Sidang: 28 Juli 2021

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Riau yang semakin meningkat, PT. PLN (Persero) ULTG GI Pasir Putih secara berkesinambungan terus melakukan penyediaan listrik salah satunya dengan melakukan *uprating* trafo sebagai solusi akibat meningkatnya beban kebutuhan masyarakat pada tahun 2021 ini, sehingga akibat adanya perencanaan *uprating* pada trafo 30 MVA, tentu akan mempengaruhi pengaturan nilai *setting* pada sistem proteksi yang sudah ada sehingga penting untuk dilakukan *resetting* peralatan proteksi, salah satunya Rele Diferensial. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai *setting* Rele Diferensial yang tepat sebelum dilakukannya *uprating* atau penambahan daya dari trafo 30 MVA menjadi 60 MVA di Gardu Induk (GI) Pasir Putih untuk mencegah terjadinya kegagalan proteksi ketika nantinya trafo sudah beroperasi. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan pengujian pada nilai *setting* Rele Diferensial yang telah didapat terhadap variasi gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah menggunakan data sekunder. Pengujian ini dilakukan menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0 guna memastikan bahwa nilai *setting* rele yang didapatkan dapat bekerja dengan baik. Hasil dari penelitian ini adalah besar nilai *setting* untuk *uprating* trafo di Gardu Induk Pasir Putih yaitu 0,8719 A. Perhitungan ini didapatkan berdasarkan perhitungan rasio CT pada sisi 150 kV yaitu 300:5 A dengan besar *error mismatch* pada CT₁ yaitu 0,1953% dan sisi 22 kV yaitu 2000:5 A dengan besar *error mismatch* pada CT₂ yaitu 1,0228% , arus sekunder CT pada sisi 150 kV yaitu 3,849 A dan sisi 22 kV yaitu 3,9365 A, arus diferensial sebesar 0,0875 A, arus *restrain* (penahan) sebesar 3,8928 A, dan besar nilai *slope*₁ yaitu 22,4% sedangkan nilai *slope*₂ yaitu 44,9%. Hasil dari simulasi variasi gangguan hubung singkat terhadap performa Rele Diferensial untuk *uprating* transformator Gardu Induk Pasir Putih sesuai *setting* yang didapat, rele mampu bekerja dengan baik. Rele Diferensial akan aktif ketika membaca *input* arus gangguan yang melebihi nilai *setting* ($I \geq 0.8719 \text{ A}$).

Kata kunci : Proteksi, Rele Diferensial, Software ETAP 16.0.0, Transformator

ANALYSIS SETTING OF DIFFERENTIAL RELAY AS A PROTECTION FOR UPRATING TRANSFORMERS 60 MVA ON SUBSTATION

PASIR PUTIH

FADHLILLAH BENEDICTO

Student Number: 11755100026

Date of Final Exam: 28 July 2021

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas Street, Number.155 Pekanbaru

ABSTRACT

In completely the increasing demand for electrical energy in Riau, PT. PLN (Persero) ULTG GI Pasir Putih continuously continues to provide electricity, one of which is by uprating the transformer as a solution due to the increasing burden of community needs in 2021, so that due to the uprating plan for the 30 MVA transformer, it will certainly affect the setting value of the protection system. that already exists, so it is important to reset the protection equipment, one of which is the Differential Relay. This study aims to determine the appropriate value for the Differential Relay setting before uprating or adding power from a 30 MVA transformer to 60 MVA at the Pasir Putih Substation (GI) to prevent protection failure when the transformer is operating. This research was conducted by providing a test on the value of the Differential Relay setting that has been obtained for variations in 3-phase, 2-phase and 1-phase short-circuit faults to ground using secondary data. This test is carried out using the ETAP 16.0.0 application to ensure that the relay setting values obtained can work properly. The result of this study is that the setting value for uprating the transformer at the Pasir Putih Substation is 0.8719 A. This calculation is obtained based on the calculation of the CT ratio on the 150 kV side, which is 300:5 A with a large mismatch error on CT1 which is 0.1953% and the 22 kV side is 2000:5 A with a large mismatch error on CT2 which is 1.0228%, the CT secondary current on the 150 kV side is 3.849 A and the 22 kV side is 3.9365 A, differential current is 0.0875 A, restraint current (holding) is 3.8928 A, and the value of slope1 is 22.4%, while the value of slope2 is 44.9%. The results of the simulation of short circuit fault variations on the performance of the Differential Relay for uprating the Pasir Putih Substation transformer according to the settings obtained, the relay is able to work well. Differential Relay will be active when reading input fault current which exceeds the setting value (I 0.8719 A).

Keywords: Differential Relay, Protection, Software ETAP 16.0.0, Transformers

KATA PENGANTAR



Assalammu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah *Rabbil 'Alamin*, puji syukur penulis panjatkan kepada Rabb, Dzat yang Maha Mulia yakni Allah *Subhanallahu wa Ta'ala*, yang selalu senantiasa memberikan rahmat yang tiada tara dan karunia-Nya yang tiada terhingga kepada penulis sehingga dapat melaksanakan Kerja Praktek dan telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Penyetelan Rele Diferensial Sebagai Sistem Proteksi Untuk Penambahan Kapasitas Trafo 60 MVA di Gardu Induk Pasir Putih”**. Shalawat dan salam semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam*, keluarga serta para Sahabat beliau, juga kepada orang-orang yang mengikuti sunnah mereka dengan baik hingga hari kiamat kelak.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materil. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus nya kepada :

Orang Tua tercinta, Kakak Nadhira, Adek Fadhil, Adek 'Aisyah dan keluarga besar yang telah mendo'akan serta memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Bapak Dr. Hartono, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Bapak Sutoyo, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Bapak Ahmad Faizal S.T., M.T, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan syarif Kasim Riau.

1. Ibu Dr. Liliana, ST., M.Eng selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada penulis baik dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini maupun dalam proses pendidikan Strata 1 (S1) penulis.
 2. Bapak Dr. Alex Wenda, S.T. M.Eng., selaku Dosen pembimbing akademik yang senantiasa memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 3. Bapak Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc selaku Dosen penguji I yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.
 4. Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc selaku Dosen penguji II yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.
 5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi yang sangat bermanfaat.
 6. Pimpinan, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
 7. Bapak Juli Sembiring, selaku Manager PT. PLN UPT Pekanbaru.
 8. Bapak Fizky Firdaus, selaku Manager ULTG Pasir Putih yang telah banyak memberikan ilmu, saran dan bimbingannya kepada saya.
 9. Bapak Andreas F. Purba, selaku Supervisor GI Pasir Putih yang telah banyak memberikan ilmu, saran dan bimbingannya kepada saya.
 10. Seluruh Karyawan/ti GI Pasir Putih yang telah banyak membantu penulis selama melaksanakan penelitian ini.
 11. Sahabat Tim Yayasan Kebaikan (Muhammad Fajri, Kakanda Endriyanto, SH., Kariza Awal Mahendra, Fajar Ardiansya, Dzakwan Harist Mahendra, Fikri Fauzan Hafizh, Fajrin R. Nugraha, Rezki Asril, Bima Pratama, Mhd. Aldo Sofyan, dan Thifal Fatihul Ihsan) yang telah memberikan saran dan motivasinya kepada saya.
 12. Rekan-rekan seperjuangan yang sama-sama sedang mengerjakan Tugas Akhir yang telah memberikan saran dan motivasinya kepada saya.
 13. Rekan-rekan Angkatan 2017 dan Konsentrasi Energi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis memohon kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* agar usaha ini dijadikan amal sehingga berbuah pahala. Penulis menyadari dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan adanya masukan berupa kritik maupun saran dari berbagai pihak untuk kesempurnaan laporan ini serta penulis berharap semoga laporan kerja praktek ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 17 Juli 2021

Penulis

UIN SUSKA RIAU

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR ISI

Halaman

COVER

LEMBAR PERSETUJUAN i

LEMBAR PENGESAHAN ii

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL iii

LEMBAR PERNYATAAN iv

LEMBAR PERSEMBAHAN v

ABSTRAK vi

ABSTRACT vii

KATA PENGANTAR viii

DAFTAR ISI xi

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR TABEL xvi

DAFTAR RUMUS xvii

DAFTAR LAMBANG / NOTASI xviii

DAFTAR SINGKATAN xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang I-1

1.2 Rumusan Masalah I-4

1.3 Tujuan Penelitian I-5

1.4 Batasan Masalah I-5

1.5 Manfaat Penelitian I-5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait II-1

2.2 Sistem Tenaga Listrik II-4

2.3 Transformator Daya II-5

2.4 Prinsip Kerja Transformator II-7

2.5 Bagian-bagian Transformator II-8

2.5.1 Inti Besi II-8

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.5.2 Kumparan Transformator.....	II-8
2.5.3 Minyak Transformator	II-8
2.5.4 <i>Bushing</i>	II-9
2.5.5 Tangki Konservator	II-9
2.5.6 <i>Tap Changer</i>	II-9
2.5.7 <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR).....	II-9
2.6 Sistem Proteksi pada Transformator	II-10
2.6.1 Persyaratan Sistem Proteksi.....	II-11
2.6.2 Perangkat Sistem Proteksi.....	II-12
2.7 Gangguan pada Transformator Daya	II-12
2.7.1 Gangguan Internal.....	II-12
2.7.1.1 <i>Incipient Fault</i>	II-12
2.7.1.1 <i>Active Fault</i>	II-13
2.7.2 Gangguan Eksternal	II-13
2.8 Gangguan Hubung Singkat	II-14
2.8.1 Hubung Singkat Simetri.....	II-14
2.8.2 Hubung Singkat Tidak Simetri (Asimetri).....	II-14
2.9 Perhitungan Arus Hubung Singkat	II-15
2.9.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	II-15
2.9.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.....	II-16
2.9.3 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	II-16
2.10 Rele Diferensial.....	II-17
2.10.1 Kondisi Normal.....	II-17
2.10.2 Kondisi Gangguan Internal	II-18
2.10.3 Kondisi Gangguan Eksternal	II-18
2.11 Karakteristik Rele Diferensial.....	II-19
2.12 <i>Setting</i> Rele Diferensial	II-19
2.12.1 Perhitungan Rasio CT (Arus Rating)	II-20
2.12.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	II-20
2.12.3 Perhitungan Arus Sekunder pada CT.....	II-21
2.12.4 Perhitungan Arus Diferensial.....	II-21

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagai atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbernya.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan buku, dan penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.12.5 Perhitungan Arus <i>Restrain</i> (Penahan).....	II-21
2.12.6 Perhitungan Slope (%)	II-21
2.12.7 Perhitungan Arus <i>Setting</i>	II-22
13 ETAP 16.0.0	II-22
2.13.1 Simbol Komponen	II-23
14 Analisis Koordinasi Nilai <i>Setting</i> Rele Diferensial.....	II-24

BAB III METODE PENELITIAN

1 Jenis Penelitian.....	III-1
2 Lokasi Penelitian.....	III-1
3 Tahapan Penelitian.....	III-1
4 Studi Literatur	III-3
5 Prosedur Penelitian	III-3
3.6 Pengumpulan Data Sekunder	III-3
3.7 Menghitung Rasio CT Ideal	III-6
3.8 Menghitung <i>Error Mismatch</i>	III-6
3.9 Menentukan Arus Diferensial dan Arus Penahan	III-6
3.10 Menentukan Nilai <i>Setting</i> Diferensial.....	III-7
3.11 Simulasi ETAP 16.0.0.....	III-7
3.11.1 Input Data Jaringan	III-7
3.11.2 Simulasi Aliran Daya.....	III-12
3.11.3 Simulasi Kinerja Rele Diferensial	III-12
12 Analisa Hasil	III-13

BAB IV HASIL DAN ANALISA

1 Hasil dan Analisis Nilai <i>Setting</i> untuk <i>Uprating</i> Transformator	IV-1
4.1.1 Perhitungan Rasio CT (<i>Arus Rating</i>)	IV-1
4.1.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	IV-2
4.1.3 Perhitungan Arus Sekunder pada CT.....	IV-3
4.1.4 Perhitungan Arus Diferensial.....	IV-4
4.1.5 Perhitungan Arus <i>Restrain</i> (Penahan).....	IV-4
4.1.6 Perhitungan Slope (%)	IV-5
4.1.7 Perhitungan Arus <i>Setting</i>	IV-5

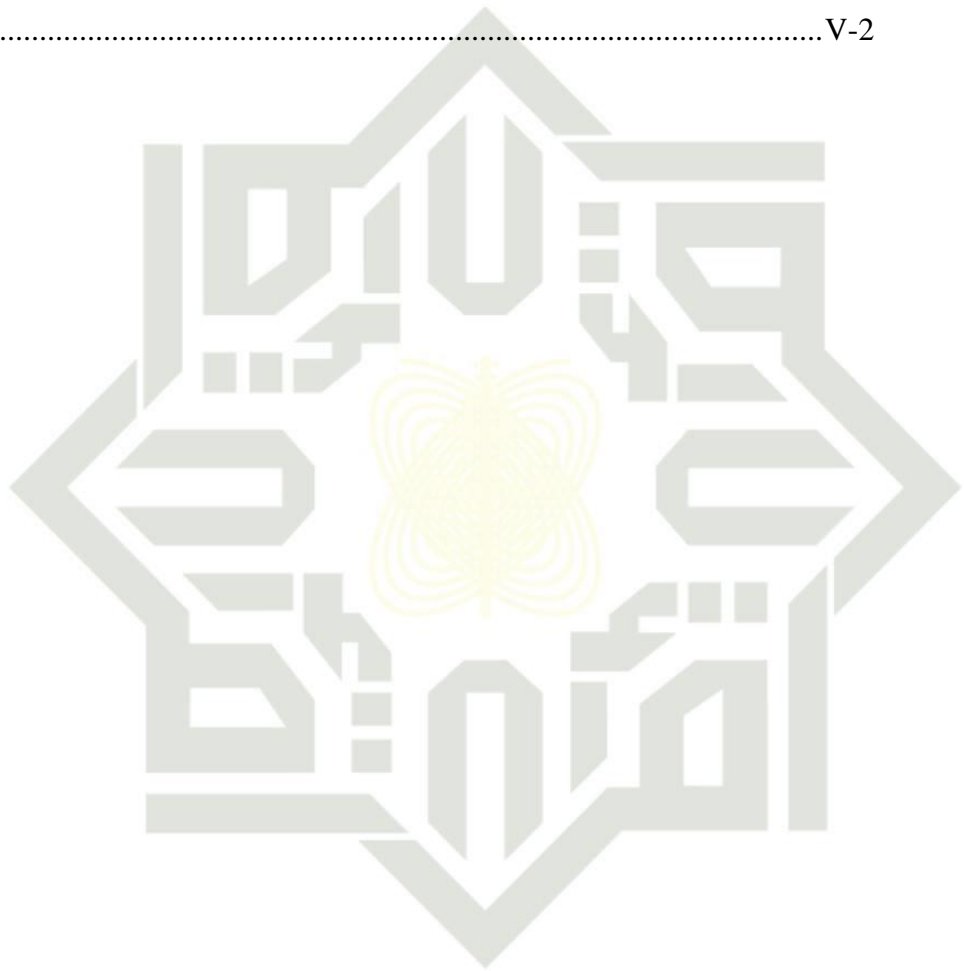
4.2 Hasil dan Analisis Nilai Arus dari Variasi Gangguan Hubung Singkat ...	IV-6
4.3 Hasil Simulasi Kinerja Rele Diferensial pada Variasi Gangguan Hubung Singkat	IV-8
4.3.1 Hasil Kurve Kinerja Rele Diferensial	IV-9

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengaitkan kepentingan komersial atau keuntungan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

	Hak Cipta I	Hak	Gambar	Halaman
1. Dilarang ... mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:				
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.				
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.				
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.				
			Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik	II-5
			Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator	II-7
			Gambar 2.3 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	II-15
			Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	II-16
			Gambar 2.5 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	II-17
			Gambar 2.6 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Normal	II-18
			Gambar 2.7 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Gangguan Internal	II-18
			Gambar 2.8 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Gangguan Eksternal	II-19
			Gambar 2.9 Kurva Karakteristik Rele Diferensial	II-19
			Gambar 2.10 Simbol <i>Grid</i>	II-23
			Gambar 2.11 Simbol Generator	II-23
			Gambar 2.12 Simbol Transformator	II-24
			Gambar 2.13 Simbol Kabel	II-24
			Gambar 2.14 Menu Gangguan Hubung Singkat	II-24
			Gambar 2.15 Menu Analisis Koordinasi Proteksi	II-25
			Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-2
			Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> GI Pasir Putih	III-4
			Gambar 3.3 Tampilan Lembar <i>Project</i> ETAP 16.0.0	III-7
			Gambar 3.4 Input Data <i>Grid</i>	III-8
			Gambar 3.5 Input Data Transformator	III-8
			Gambar 3.6 Input Data Generator	III-9
			Gambar 3.7 Input Data Trafo Arus	III-9
			Gambar 3.8 Input Data <i>Setting</i> Rele Diferensial	III-10
			Gambar 3.9 Input Data PMT	III-10
			Gambar 3.10 Input Data Konduktor SUTT	III-11
			Gambar 3.11 Input Data Beban	III-11
			Gambar 3.12 Fungsi Menu Simulasi Aliran Daya	III-12
			Gambar 3.13 Fungsi Menu Simulasi Rele Proteksi	III-13
			Gambar 4.2 Gangguan di Dalam Zona Proteksi Rele Diferensial Sisi 22 kV	IV-7

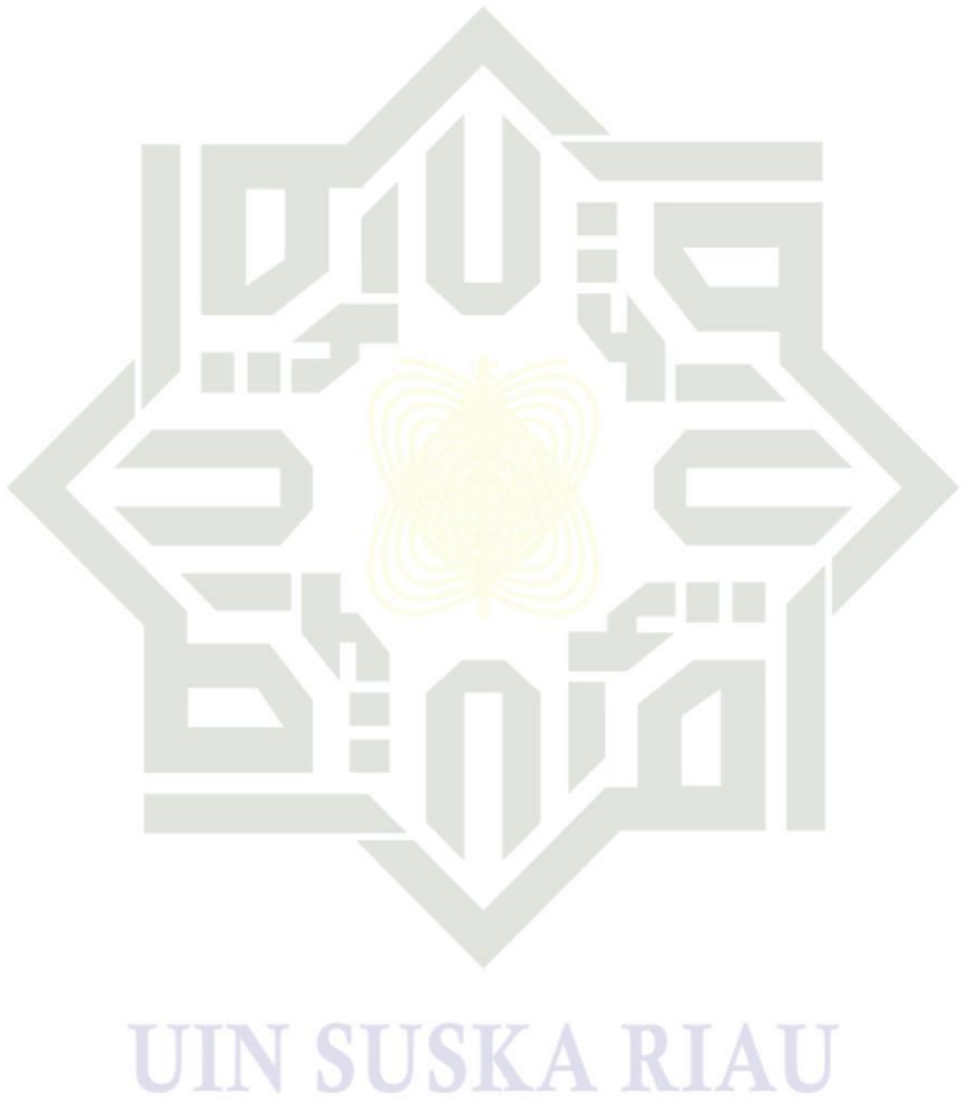
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 4.2 Gangguan di Luar Zona Proteksi Rele Diferensial Sisi 150 kV	IV-7
Gambar 4.3 Kurva Karakteristik Kerja Rele Diferensial	IV-9



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Hubung Singkat	III-4
Tabel 3.2	Spesifikasi Transformator Daya GI Pasir Putih	III-5
Tabel 3.3	Spesifikasi Rele Diferensial GI Pasir Putih	III-6
Tabel 3.4	Hasil Perhitungan Rasio CT ideal	III-6
Tabel 3.5	Hasil Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	III-6
Tabel 3.6	Hasil Perhitungan Arus Diferensial dan Arus Penahan	III-6
Tabel 3.7	Hasil Perhitungan <i>Slope</i> dan Arus <i>Setting</i>	III-7
Tabel 4.1	Hasil simulasi hubung singkat pada zona proteksi sisi 22 kV	IV-7
Tabel 4.2	Hasil simulasi hubung singkat pada zona proteksi sisi 150 kV	IV-7
Tabel 4.3	Hasil simulasi kinerja Rele Diferensial pada zona proteksi sisi 22 kV	IV-8
Tabel 4.4	Hasil simulasi kinerja Rele Diferensial pada zona proteksi sisi 150 kV	IV-8

- Hak Cipta I**
1. Dilarang ... pengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengukuhkan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Rumus

DAFTAR RUMUS

Halaman

Rumus 2.1 Perhitungan Rasio Lilitan Trafo	II-5
Rumus 2.2 Perhitungan Tegangan <i>Output</i> Trafo	II-6
Rumus 2.3 Arus Nominal Sisi Sekunder	II-6
Rumus 2.4 Arus Nominal Sisi Primer.....	II-6
Rumus 2.5 Gaya Gerak Listrik	II-7
Rumus 2.6 Arus Hubung Singkat 3 Fasa	II-15
Rumus 2.7 Arus Hubung Singkat 2 Fasa	II-16
Rumus 2.8 Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	II-17
Rumus 2.9 Arus <i>Rating</i>	II-20
Rumus 2.10 Arus Nominal pada Trafo	II-20
Rumus 2.11 Perbandingan Rasio CT Ideal	II-20
Rumus 2.12 Perhitungan CT Ideal.....	II-20
Rumus 2.13 Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	II-20
Rumus 2.14 Perhitungan Arus Sekunder CT	II-21
Rumus 2.15 Perhitungan Arus Diferensial	II-21
Rumus 2.16 Perhitungan Arus <i>Restrained</i> (Penahan)	II-21
Rumus 2.17 Perhitungan Slope 1	II-22
Rumus 2.18 Perhitungan Slope 2.....	II-22
Rumus 2.19 Perhitungan Arus <i>Setting</i>	II-22

DAFTAR LAMBANG / NOTASI

ϕ	: Rasio Lilitan
N_1	: Jumlah Lilitan Primer
N_2	: Jumlah Lilitan Sekunder
S	: Daya pada Transformator
I_{N1}	: Arus Nominal Transformator Daya Sisi Primer
I_{N2}	: Arus Nominal Transformator Daya Sisi Sekunder
$\frac{d\phi}{dt}$: Gaya Gerak Listrik yang Diinduksikan
Φ	: Perubahan Fluks Sesaat (Weber)
Z_1	: Impedansi Urutan Positif
Z_2	: Impedansi Urutan Negatif
Z_0	: Impedansi Urutan Nol
V_{10}	: Tegangan Fasa ke Netral
V_{11}	: Tegangan Fasa ke Fasa
V	: Tegangan
V_1	: Tegangan pada Sisi Tinggi
V_2	: Tegangan pada Sisi Rendah
A	: Ampere
I	: Arus
I_n	: Arus nominal
I_d	: Arus Diferensial
I_r	: Arus Penahan (<i>Restrained</i>)
I_{set}	: Arus <i>Setting</i>
$I_{sc} 3 \phi$: Arus hubung singkat 3 fasa
$I_{sc} 2 \phi$: Arus hubung singkat 2 fasa
$I_{sc} 1 \phi$: Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

DAFTAR SINGKATAN

© Hak cipta

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi

1. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh isi buku ini untuk keperluan lain.
2. Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruh isi buku ini untuk keperluan lain.

PLN	: Perusahaan Listrik Negara
UPT	: Unit Pelayanan Transmisi
GI	: Gardu Induk
CT	: <i>Current Transformer</i>
PT	: <i>Potential Transformers</i>
ANSI	: <i>American National Standards Institute</i>
IEC	: <i>International Electrotechnical Commission</i>
AC	: <i>Alternating Current</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
CB	: <i>Circuit Breaker</i>
PMT	: Pemutus Tenaga
NGR	: <i>Neutral Grounding Resistance</i>
ETAP	: <i>Electrical Transient and Analysis Program</i>
SLD	: <i>Single Line Diagram</i>

UIN SUSKA RIAU

BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan untuk landasan kehidupan manusia saat ini, karena energi menjadi suatu hal yang sangat diperlukan dan tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia. Energi sangat berpengaruh di dalam kehidupan pada zaman sekarang ini, semakin besarnya populasi manusia menjadikan kebutuhan energi yang digunakan juga semakin meningkat, salah satunya energi listrik [1]. Tanpa adanya energi manusia akan kesulitan dalam melakukan kegiatan sehari-hari, pemanfaatan energi akan mempermudah segala proses berlangsungnya kehidupan untuk berbagai keperluan baik itu pada masyarakat maupun sektor industri.

Di era globalisasi, energi listrik berperan dalam memenuhi kebutuhan manusia khususnya kebutuhan primer karena setiap aktivitas sehari-hari saat ini hampir sepenuhnya membutuhkan energi listrik seperti untuk mempermudah dalam melakukan kegiatan. Apabila kekurangan energi listrik, maka aktivitas manusia akan menjadi terhambat seperti untuk keperluan dalam penggunaan barang-barang elektronik [2]. Sudah seharusnya di zaman yang semakin maju seperti saat ini sistem kelistrikan perlu diperhatikan mulai dari proses penyaluran tenaga listrik agar aktivitas dan kegiatan dari masyarakat dapat berlangsung dengan baik guna mendukung pembangunan industri yang maju dan peningkatan taraf hidup yang baik [3].

Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut, PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru secara berkesinambungan terus melakukan penyediaan dan pengembangan sistem tenaga listrik, salah satunya dengan mengoperasikan Gardu Induk (GI) Pasir Putih dalam melayani kelistrikan di Provinsi Riau. Gardu Induk ini merupakan salah satu sistem transmisi tenaga listrik yang ada di Riau, tepatnya di Jalan Pasir Putih, Desa Baru Km, 10,5 Kecamatan Siak Hulu Kabupaten Kampar. Sumber energi listriknya berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tenayan Raya 2x110 MW, Gardu Induk ini dibangun menggunakan sistem jalur udara guna mendukung jaringan transmisi, distribusi hingga ke pelanggan. Dalam sistem kelistrikannya, Gardu Induk (GI) Pasir Putih dihubungkan dengan dengan Gardu Induk Tenayan Raya, Gardu Induk Garuda Sakti, dan Gardu Induk Pangkalan Kerinci untuk memperkuat keandalan sistem penyaluran tenaga listrik khususnya pada subsistem Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) [4].

Gardu Induk (GI) Pasir Putih memiliki 3 unit transformator daya, dimana terdapat 1 unit transformator 60 MVA dan 2 unit lainnya dengan masing-masing daya sebesar 30 MVA. Upaya

yang dilakukan oleh UPT Pekanbaru untuk tetap memenuhi kebutuhan energi listrik di Riau adalah dengan melakukan *uprating* atau penambahan daya pada trafo 30 MVA menjadi 60 MVA. *Uprating* transformator dilakukan sebagai solusi akibat meningkatnya beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat, selain itu *uprating* transformator juga berguna dalam meningkatkan kinerja operasi dalam melakukan distribusi energi listrik hingga ke konsumen [5]. Maka, untuk melakukan *uprating* pada transformator II di Gardu Induk Pasir Putih diperlukan sistem proteksi yang baik pada transformator.

Pada suatu sistem kelistrikan sistem proteksi sangat dibutuhkan dalam meningkatkan keandalan dan menjaga kontinuitas, karena berlangsungnya pemakaian energi listrik dari beban sektor industri maupun rumah tangga secara kontinu. Untuk menjamin kontinuitas dan keandalan tersebut diperlukan proteksi pada peralatan listrik [6]. Sistem proteksi juga merupakan bentuk konfigurasi dalam keamanan, melindungi komponen-komponen listrik yang digunakan sehingga terhindari dari rusaknya peralatan jika terjadi gangguan, serta pengamanan terhadap manusia juga diberikan, sehingga tetap terjaganya stabilitas penyaluran tenaga listrik [7].

Sistem proteksi yang andal akan bisa menghindari gangguan sedini mungkin dan meminimalisir efek gangguan yang terjadi [8]. Sistem proteksi dapat melakukan identifikasi gangguan-gangguan yang terjadi, baik itu gangguan yang bersifat temporer dan permanen. Gangguan bersifat temporer ialah gangguan yang tidak berlangsung lama dan dapat hilang dengan sendirinya dengan memisahkan bagian yang terjadi gangguan dari bagian yang tidak terjadi gangguan, sedangkan gangguan bersifat permanen ialah gangguan yang perlu adanya tindakan perbaikan untuk menghilangkan gangguan dari kerusakan yang terjadi [9].

Transformator merupakan salah satu komponen listrik pada GI yang harus menggunakan sistem proteksi yang baik dengan memenuhi persyaratan andal, selektif, peka dan cepat [9]. Transformator sebagai komponen yang vital pada GI diharapkan dapat beroperasi secara maksimal untuk menyalurkan daya [10]. Trafo daya terdiri dari bagian utama seperti besi, kumparan, minyak trafo, *bushing* dan tangki konservator [11]. Trafo arus atau *Current Transformer* (CT), trafo tegangan atau *Potential Transformer* (PT), pengawatan atau *wiring*, dan sumber *Alternating Current* (AC) atau *Direct Current* (DC) adalah bagian yang termasuk ke dalam bagian yang perlu proteksi [9].

Pada gardu induk yang dipasangkan transformator daya tentu tidak akan terlepas dari setiap yang dapat merusak transformator itu sendiri salah satunya adalah gangguan hubung singkat.

Hubung singkat (*short circuit*) akan terjadi ketika adanya hubungan yang tidak normal antara satu konduktor/penghantar bertegangan ke konduktor lain atau ke tanah (*ground*) secara langsung [12]. Gangguan hubung singkat ini dapat berupa arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, gangguan hubung singkat 2 fasa, dan gangguan hubung singkat 3 fasa ke fasa [11]. Adanya gangguan faktor internal yang berasal dari dalam sistem seperti kerusakan peralatan listrik akibat kebocoran arus pada sistem isolasi (*breakdown isolation*) maupun penuaan yang terjadi serta gangguan faktor eksternal dari luar sistem seperti petir, bencana alam, hewan dan manusia menjadi faktor penyebab terjadinya gangguan hubung singkat [13], sehingga hal ini dapat menyebabkan aliran arus gangguan hubung singkat menjadi semakin besar dan dapat merusak transformator daya jika tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat [14].

Transformator daya harus dilengkapi dengan peralatan pengaman untuk mencegah setiap gangguan yang terjadi. Rele proteksi merupakan peralatan yang dapat mendeteksi adanya gangguan atau ketidaknormalan yang terjadi pada saluran atau peralatan dengan cepat pada keadaan kerja normal dari suatu sistem tenaga listrik dan secara otomatis menjadi pemutus tenaga yang bekerja untuk sebagai pemutus saluran ketika terjadi gangguan pada sistem [11].

Rele Diferensial (*Differential Relay*) merupakan alat utama dalam proteksi utama pada trafo terhadap gangguan arus hubung singkat baik itu berupa hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 2 fasa dan hubung singkat 1 fasa yang bekerja dengan cara membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar [11][15]. Gangguan hubung singkat ini dapat merusak trafo secara permanen [11], ini berarti ketika terbukanya pemutus tenaga (PMT) dalam waktu singkat akan tetapi gangguan masih tetap ada, maka diperlukan adanya perbaikan untuk memperbaikinya agar kontinuitas pelayanan daya kembali normal [16]. Selain itu, Rele Diferensial juga berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan, rele ini bekerja secara cepat dan secara selektif [17].

Berdasarkan hasil wawancara dengan Pak Andreas F. Purba selaku Supervisor Gardu Induk Pasir Putih, mengatakan bahwa pada tahun 2021, pihak UPT Pekanbaru Gardu Induk Pasir Putih akan melakukan *uprating* pada trafo 30 MVA menjadi 60 MVA, akibat meningkatnya beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Apabila terjadi peningkatan beban (*overload*) pada trafo maka usia umur trafo akan berkurang serta dapat terjadi kerusakan trafo akibat trafo yang telah terjadi panas berlebih (*overheat*), ketika hal ini terjadi maka perlu dilakukan pemeliharaan yang akan berakibat terhentinya penyaluran energi listrik ke konsumen. *Uprating*

(penambahan kapasitas daya) transformator dilakukan sebagai solusi akibat beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Akibat adanya perencanaan *uprating* pada trafo 30 MVA, tentu akan mempengaruhi pengaturan nilai *setting* pada sistem proteksi yang sudah ada sehingga penting dan berguna untuk dilakukan *resetting* peralatan proteksi, salah satunya Rele Diferensial. Oleh karenanya, demi meningkatkan keandalan dalam sistem kelistrikan, nilai *setting* rele harus dilakukan secara tepat untuk mencegah terjadinya kegagalan proteksi.

Saat ini, beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) GI Pasir Putih dalam melakukan perencanaan *setting* Rele Diferensial untuk *uprating* trafo 60 MVA adalah dengan melakukan perhitungan secara matematis untuk mendapatkan nilai *setting*nya dan melakukan pengujian nilai *setting* yang telah didapat pada trafo dengan cara memberikan *secondary injection* (injeksi tambahan), yaitu injeksi arus tambahan untuk menganalisa aliran daya yang terjadi serta berfungsi sebagai pengujian nilai *setting* Rele Diferensial yang telah didapatkan apakah sudah tepat. Namun metode pengujian ini hanya bisa dilakukan ketika trafo sudah datang atau ketika trafo sudah berada di *switchyard* Gardu Induk.

Pada penelitian ini dalam menentukan nilai *setting* Rele Diferensial dilakukan metode yang berbeda untuk melengkapi metode yang telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) GI Pasir Putih yaitu dengan melakukan pengujian nilai *setting* Rele Diferensial menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0 sebelum trafo sudah berada di *switchyard* Gardu Induk Pasir Putih, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan atau referensi dalam mengujikan nilai *setting* Rele Diferensial yang telah didapat oleh pihak PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pasir Putih untuk menghindari kegagalan proteksi ketika trafo mulai beroperasi.

Penelitian-penelitian mengenai menentukan nilai *setting* Rele Diferensial sebagai proteksi pada transformator telah banyak dilakukan sebelumnya, seperti penelitian terkait diantaranya [18][19][20][21], telah melakukan perhitungan secara manual untuk mendapatkan nilai *setting* Rele Diferensial. Penelitian yang lain tentang Rele Diferensial, menyimpulkan bahwa nilai *setting* dari Rele Diferensial yang didapat, bisa dilakukan pengujian gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada internal transformator [22]. Beberapa penelitian terkait lainnya tentang studi Rele Diferensial dapat disimpulkan bahwa nilai *setting* Rele Diferensial, dapat disimulasikan menggunakan program ETAP 16.0.0 dengan memberikan gangguan hubung singkat tiga fasa [23][24].

Dari penelitian-penelitian terkait tersebut dapat disimpulkan bahwa perlu dilakukannya analisa nilai *setting* Rele Diferensial yang tepat guna mengantisipasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi sehingga dapat menghindari kegagalan proteksi dan meningkatkan kualitas operasional sistem transmisi. Perlu adanya perhatian yang serius dalam perencanaan dalam melakukan *setting* Rele Diferensial. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis *resetting* Rele Diferensial pada trafo 60 MVA sebelum dilakukannya *uprating* dari trafo 30 MVA menjadi 60 MVA akibat meningkatnya beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Pengembangan yang ingin dilakukan dalam penelitian ini menambahkan variabel pengujian nilai *setting* Rele Diferensial yang didapat menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dengan memberikan variasi gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa, serta gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, maka dalam penelitian ini penulis akan menyusun dan mengambil sebuah judul “**Analisis Resetting Rele Diferensial sebagai Sistem Proteksi untuk Uprating Trafo 60 MVA di Gardu Induk Pasir Putih**”.

Rumusan Masalah

Bagaimana menentukan *resetting* nilai Rele Diferensial untuk *uprating* transformator di Gardu Induk Pasir Putih?

Bagaimana menentukan besarnya nilai arus dari variasi gangguan hubung singkat?

Bagaimana hasil simulasi variasi gangguan hubung singkat terhadap performa Rele Diferensial untuk *uprating* transformator Gardu Induk Pasir Putih sesuai *setting* hasil perhitungan baru menggunakan aplikasi ETAP?

Tujuan Penelitian

Menganalisis *resetting* nilai Rele Diferensial untuk *uprating* transformator di Gardu Induk Pasir Putih.

Menganalisis nilai arus dari variasi gangguan hubung singkat.

Menganalisis hasil simulasi variasi gangguan hubung singkat terhadap performa Rele Diferensial untuk *uprating* transformator Gardu Induk Pasir Putih sesuai *setting* hasil perhitungan baru menggunakan aplikasi ETAP.

Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji khusus membahas mengenai performa *setting* Rele Diferensial dan tidak membahas rele *backup* lain dan alat proteksi lain selain Rele Diferensial.

Rele Diferensial yang dianalisis adalah Rele Diferensial pada transformator yang akan dilakukan *uprating* dari 30 MVA menjadi 60 MVA.

Penelitian ini dilakukan di Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru, Gardu Induk Pasir Putih. Variasi gangguan hubung singkat yang diberikan berupa hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa dan 3 fasa.

Penelitian ini menitikberatkan pada perhitungan nilai *setting* Rele Diferensial dan hasil simulasi performa dari nilai *setting* Rele Diferensial yang didapat menggunakan aplikasi ETAP.

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang sistem proteksi khususnya Rele Diferensial yang bekerja sudah sesuai dengan standarisasi dari PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pasir Putih.

Diharapkan penelitian ini dapat menjadi masukan atau referensi dalam melakukan analisa *setting* proteksi yang tepat bagi pihak PT. PLN (Persero) Gardu Induk sehingga sistem proteksi dapat bekerja secara cepat dan selektif.

Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan acuan atau sumber data untuk pengembangan sistem proteksi pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk selanjutnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipannya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Langkah awal dalam melaksanakan penelitian diperlukan riset literatur yang bertujuan agar dapat menemukan referensi dari sumber- sumber yang relevan dengan riset yang hendak dilakukan. Penelitian yang dilakukan referensinya bersumber dari *paper*, jurnal, buku ataupun informasi berita yang berhubungan dengan riset ini.

Dalam penelitian ini beberapa sumber referensi yang dapat peneliti rangkum pada analisis *Setting* Rele Diferensial pada Transformator, penelitian yang dilakukan mengenai “Rele Diferensial Sebagai Proteksi pada Transformator Daya pada Gardu Induk”. Riset ini bertujuan untuk mengulas tentang pemakaian Rele Diferensial selaku pengaman utama pada transformator daya dapat menjauhi kegagalan proteksi. Studi kasus riset ini ialah di Unit Layanan serta Transmisi Gardu Induk Paya Pasir, Marelán, Medan. Metode yang digunakan merupakan melaksanakan perhitungan secara matematis memakai informasi sekunder, sehingga didapatkan nilai *setting* Rele Diferensial pada transformator yang digunakan. Besarnya rasio CT pada trafo sisi tegangan primer sebesar 150 kV merupakan 300:1 A serta trafo sisi tegangan sekunder sebesar 20 kV merupakan 2000:5 A. Hasil ini didapat atas dasar pertimbangan hasil perhitungan arus rating yaitu 254,034 A pada trafo sisi primer serta 1905, 256 A pada trafo sisi sekunder. Hasil dari riset ini menampilkan bahwa perhitungan arus *setting* yang didapat merupakan sebesar 0,1159 A, namun pada *setting* Rele Diferensial terbuat 0,3 A supaya Rele Diferensial bisa bekerja apabila nilai arus diferensial melebihi arus *setting* maupun kebalikannya [18].

Penelitian terkait yang kedua yaitu mengenai “Analisa Proteksi *Relay* Diferensial terhadap Gangguan *Eksternal* Transformator”. Tujuan riset ini adalah meningkatkan kualitas operasional sistem transmisi dalam mengatasi gangguan *eksternal* transformator yang dilakukan oleh Rele Diferensial. Metode yang digunakan adalah melakukan perhitungan secara matematis menggunakan data sekunder yang didapatkan dari PLTU Unit 4 Belawan, serta memberikan gangguan arus hubung singkat tiga fasa pada gangguan *eksternal* secara matematis. Besarnya rasio CT pada trafo sisi tegangan primer sebesar 150 kV adalah 400:5 A pada trafo sisi sekunder sebesar 11 kV adalah 5000:5 A. Hasil ini didapat atas dasar pertimbangan hasil perhitungan arus rating yaitu 342,8 A pada trafo sisi primer dan 4676,67 A pada trafo sisi sekunder. Hasil dari

menunjukkan bahwa perhitungan arus *setting* yang didapat adalah sebesar 0,3 A

Penelitian terkait ketiga yaitu mengenai “Studi Analisa Rele Differensial pada Proteksi Transformator 60 MVA Gardu Induk Pauh Limo”. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji dan menganalisis nilai *setting* Rele Diferensial pada Transformator 60 MVA yang didapat dan dimodelkan menggunakan ETAP. Aplikasi ETAP digunakan dalam pengujian nilai *setting* Rele Differensial untuk kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa menggunakan data sekunder. Berdasarkan pada hasil riset ini didapatkan kalau hasil arus setting sebesar 0,485 A, sebaliknya data untuk dilapangan nilai arus setting sebesar 0,3 A. Hasil perhitungan *setting* dicoba pada Rele Diferensial yang disimulasikan ke aplikasi ETAP, rele bekerja dengan baik sebab sanggup mentriapkan *Circuit Breaker* (CB) dalam kondisi gangguan pada wilayah kerja Rele Diferensial dengan besar arus *setting*nya yaitu 0,063 A. Artinya nilai ini lebih kecil dari pada arus yang beroperasi sebesar 0,085 A. Sebaliknya pada kendala diluar wilayah pengaman rele, arus *setting* yang mencuat 0,063 A sama dengan arus yang beroperasi sebesar 0,063 A sehingga rele tidak bekerja [23].

Penelitian terkait keempat yaitu mengenai “Menentukan *Setting* Rele Differensial Pada Bus-Bar di Gardu Induk Paya Pasir Medan”. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai *setting* pada Rele Differensial pada bus-bar menggunakan menggunakan data sekunder, yaitu data-data Rele Differensial yang dipakai pada bus-bar untuk mendapatkan nilai *setting* Rele Diferensial yang tepat. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa Rele ini dapat bekerja efektif dalam memproteksi gangguan yang terjadi pada daerah busbar yang bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan arus [20].

Penelitian terkait kelima yaitu mengenai “Perancangan Sistem Pengaman Busbar 150 kV Menggunakan Rele Diferensial di Gardu Induk Sanur”. Dalam riset ini bertujuan untuk melakukan rancangan pada busbar ganda 150 kV memakai sistem proteksi Rele Diferensial agar pada saat busbar terjadi gangguan tidak berakibat pada kontinuitas daya listrik. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menghitung secara matematis menggunakan data sekunder untuk mendapatkan nilai *setting*nya, kemudian diberikan gangguan dalam pada zona proteksi. Hasil rancangan sistem proteksi busbar 150 kV di Gardu Induk Sanur menggunakan Rele Diferensial adalah besar *setting* nilai arus *pick up* pada busbar A yaitu 0,88 A sedangkan pada busbar B sebesar 1,046 A. Besar nilai *breakpoint* nya yaitu 6 A, hasil nilai perhitungan *slope* 1 yaitu 30% sedangkan

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

slope 2 yaitu 135% dengan waktu kerja Rele Diferensial sebesar 0 detik baik untuk busbar A maupun busbar B. Dibutuhkan waktu selama 0,035 detik untuk Rele Diferensial mengisolir busbar B apabila terjadi gangguan, lalu 1,185 detik untuk OCR ketika kondisi *eksisting*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rancangan Rele Diferensial dapat beroperasi lebih cepat daripada OCR saat ini di Gardu Induk Sanur [21].

Penelitian terkait keenam yaitu mengenai “Studi Koordinasi Kerja Rele Diferensial dan Rele *Restricted Earth Fault* Setelah *Up-rating* pada Transformator II di GI Kapal”. Dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisa nilai *setting* Rele Diferensial dan Rele REF untuk menanggulangi gangguan *internal* pada transformator daya setelah dilakukannya *up-rating*. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menghitung secara matematis menggunakan data sekunder untuk mendapatkan nilai *setting* Rele Diferensial dan Relai REF, kemudian diberikan pengujian gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada *internal* transformator. Besar hasil sensitifitas dari Rele REF didapatkan yaitu 382,75 A dan letak gangguan terjadi pada 22,09% belitan, sedangkan hasil sensitifitas dari Rele Diferensial yaitu 519,6 A atau letak gangguan terjadi pada 30% belitan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Rele REF akan beroperasi lebih cepat dibanding dalam melakukan pengamanan *internal* trafo ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah [22].

Penelitian terkait ketujuh yaitu mengenai judul “Studi Sistem Proteksi *Line Current Differential Relay* Pada Saluran Transmisi 150 kV”. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sistem proteksi ada jaringan transmisi GIS Pesanggaran menuju GI Nusa Dua yaitu *Line Current Differential Relay* dengan metode penelitian menggunakan data sekunder, melakukan perhitungan data secara matematis untuk mendapatkan nilai *setting* rele, kemudian pengujian *setting* rele dengan mensimulasikan aliran daya hubung singkat 3 fasa menggunakan simulator. Setelah dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa pada GI Nusa Dua, dihasilkan bahwa akan muncul arus hubung singkat sebesar 9,54 kA. Hasil perhitungan *setting relay* Is1 adalah sebesar 0,2 A dengan *slope* 20% dan *setting relay* Is2 sebesar 2 A dengan *slope* 50%. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa Rele ini dapat bekerja baik [24].

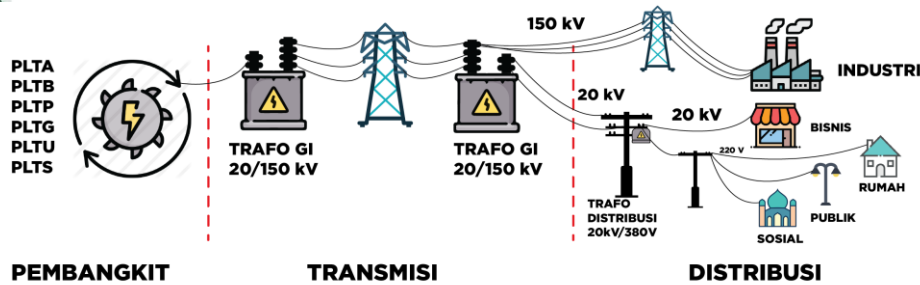
Penelitian ini mengadopsi dari penelitian terkait [22][23][24]. Perbedaan penelitian ini yaitu pada variasi pengujian rele terhadap semua jenis gangguan hubung singkat yang digunakan. Variasi yang peneliti ujikan yaitu menggunakan gangguan arus hubung singkat 3 fasa, gangguan

arus hubung singkat 2 fasa, serta gangguan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yang akan diujikan pada nilai *setting* Rele Diferensial yang telah didapatkan. Peneliti sebelumnya [22] hanya melakukan pengujian pada *internal* trafo dengan memberikan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, peneliti [23][24] hanya melakukan pengujian hubung singkat 3 fasa saja. Simulasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa apakah nilai *setting* rele yg dihitung dapat bekerja dengan baik bila terjadi gangguan, setelah peneliti sebelumnya [18][19][20][21] hanya sampai pada batas mendapatkan nilai *setting* saja tanpa melakukan pengujian, apakah nilai *setting* Rele yang didapat memang sudah benar-benar dapat bekerja dengan bila diberikan gangguan.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu interkoneksi yang saling terintegrasi dihubungkan oleh jaringan transmisi yang mencakup dari bagian sentral atau pusat tenaga listrik hingga ke gardu induk sebagai pusat beban. Generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi hingga ke beban merupakan kumpulan komponen-komponen yang selalu dikaitkan dengan sistem tenaga listrik yang sama-sama terhubung menjadi satu integrasi hingga menciptakan suatu sistem [25]. Proses pada sistem tenaga listrik dimulai dari pusat pembangkit listrik seperti PLTS, PLTB, PLTD, PLTA, PLTU dan sebagainya dimana nantinya akan menghasilkan energi listrik dengan tegangan 6-20 kV. Energi listrik yang dihasilkan, akan dibantu dengan trafo *step up* untuk menaikkan tegangan hingga 150-500 kV sehingga meminimalisir rugi-rugi yang terjadi. Untuk meminimalisasi resiko yang muncul saat saluran transmisi telah mendekati kawasan tinggal penduduk karena tegangan yang terlalu tinggi, pada gardu Induk pelanggan dibutuhkan bantuan trafo *step down* tegangan 150 kV diturunkan menjadi sebesar 20 kV yang mana ini sudah termasuk bagian dari jaringan distribusi tegangan menengah dan biasanya akan digunakan untuk pelanggan tegangan menengah seperti pabrik-pabrik industri, lalu dari 20 kV diturunkan kembali melalui trafo distribusi menuju jaringan distribusi tengerah sebesar 380/220 Volt untuk disalurkan ke masyarakat [26].

UIN SUSKA RIAU



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik [25]

2.3 Transformator Daya

Transformator merupakan komponen listrik statis yang dapat digunakan sebagai penyalur tenaga listrik, baik itu dalam mengubah tegangan bolak-balik (AC) dari tegangan rendah menjadi tegangan tinggi hingga sebaliknya pada frekuensi yang konstan atau tidak merubah frekuensi. Dalam sistem tenaga listrik, besar tegangan transformator dapat disesuaikan dengan kebutuhan diperlukan. Dikatakan sebagai komponen listrik statis karena tidak adanya bagian pada transformator yang berputar atau bergerak seperti generator ataupun motor [27].

Transformator pada umumnya terdiri atas dua kumparan yang dililitkan pada suatu inti terdiri dari material magnetik berlaminasi. Kumparan pertama disebut kumparan primer, yaitu kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan (*input*). Kumparan kedua disebut kumparan sekunder, yaitu kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran (*output*). Sehingga pada umumnya transformator disederhanakan kedalam tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder, dan inti besi. Lilitan utama yang sering disebut lilitan primer termasuk dalam bagian transformator yang terkoneksi dengan sumber energi. Lilitan sekunder juga termasuk bagian dari transformator itu sendiri dan tujuannya pun untuk membuat arus magnet terarah secara keseluruhan yang hasilnya berasal dari lilitan primer agar dia dapat masuk untuk terhubung dengan lilitan sekunder [11].

Perubahan tegangan pada *output* tergantung pada rasio dan dapat dirumuskan:

$$a = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

dimana:

N_1 : Jumlah lilitan primer

N_2 : Jumlah lilitan sekunder

a : Rasio lilitan

$$V_0 = \frac{V_1}{a} \quad (2.2)$$

Tegangan output
Tegangan input

Untuk mengetahui besarnya arus nominal pada transformator, maka dapat ditentukan dengan persamaan berikut [28]:

Arus nominal pada sisi primer:

$$I_{N1} = \frac{S}{V_p \times \sqrt{3}} \quad (2.3)$$

Arus nominal pada sisi sekunder:

$$I_{N2} = \frac{S}{V_s \times \sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Dimana:

I_{N1} = Arus nominal transformator daya sisi primer

I_{N2} = Arus nominal transformator daya sisi sekunder

S = Daya pada transformator

V_p = Tegangan pada sisi primer

V_s = Tegangan pada sisi sekunder

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator berdasarkan kegunaannya jenis jenis transformator dapat dibedakan menjadi [11][29]:

Transformator daya (tenaga), yaitu trafo yang berguna untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan pembangkitan ke tegangan transmisi (*step up*) dan menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi (*step down*).

Transformator distribusi, yaitu trafo yang berguna untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen.

3. Transformator pengukuran, yaitu trafo yang berguna sebagai pengukuran yang terdiri atas *Potential Transformers* (PT) yang disebut trafo tegangan dan *Current Transformers* (CT) yang disebut trafo arus yang difungsikan untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

2.4 Prinsip Kerja Transformator

Pada dasarnya transformator melakukan pekerjaan dengan dasar hukum induksi Faraday yaitu "Gaya gerak listrik melalui garis lengkung yang tertutup adalah berbanding lurus dengan perubahan fluks magnetik waktu daripada arus induksi atau fluks yang dilingkari oleh garis lengkung itu". Selain itu yang berbunyi pada hukum ini, ia juga menggunakan aturan hukum Lorentz arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan" [29].

Secara sederhana, cara kerja yang digunakan transformator sebagai prinsip dasar kerjanya ialah mengikuti konsep dasar induksi (*mutual induction*) rangkaian yang terhubung karena fluks magnet. Transformator yang terdiri dari dua kumparan yang terpisah, terpisah secara kelistrikan tetapi tidak secara magnet, magnet yang terhubung melalui alur induksi. Kumparan tersebut memiliki *mutual induction* yang sangat tinggi. Apabila diantara suatu kumparan itu terhubung dengan tegangan bolak-balik, dari dalam inti besi timbul fluks bolak-balik yang terhubung dengan kumparan yang dapat terjadinya ggl (gaya gerak listrik) induksi yang berasal dari hukum Faraday [30].

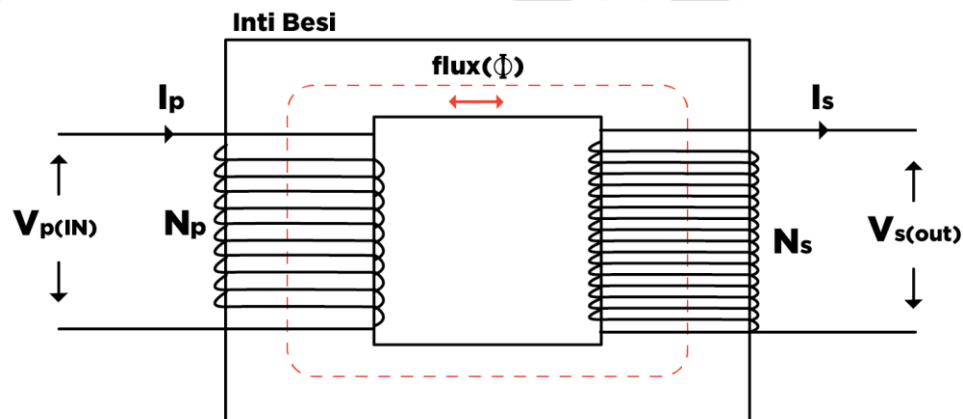
$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.5)$$

dimana:

Gaya gerak listrik yang diinduksikan

Jumlah belitan kumparan

$d\phi/dt$: Perubahan fluks sesaat (Weber)



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Transformator [29]

Bagian-bagian Transformator

Pada umumnya trafo memiliki beberapa bagian-bagian yang mempunyai kegunaan berbeda-beda, diantaranya adalah sebagai berikut [11]:

Inti Besi

Electromagnetic circuit atau inti besi memiliki peran sebagai media agar penggerakannya yang hadir akibat adanya induksi arus bolak-balik pada kumparan yang terdapat pada inti besi sehingga dengan mudah untuk dapat menginduksikan kembali pada kumparan yang lainnya. Inti besi dibuat dari plat besi yang tipis agar bisa mengurangi *eddy current* yang bersumber dari induksi medan magnet, di mana dapat menyebabkan arus tersebut mengalami *losses*.

Kumparan Transformator

Transformator pada biasanya tersusun atas dua kumparan yang saling dililitkan pada inti besi yang terdiri dari material magnetik berlaminasi. Kumparan pertama disebut kumparan primer, yaitu kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan (*input*). Kumparan kedua disebut kumparan sekunder, yaitu kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran (*output*). Kedua kumparan ini merupakan alat transformasi tegangan dan arus. Saat arus bolak balik mengalir pada lilitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik.

Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai media isolasi yang berfungsi untuk memperkecil berbagai ukuran dan juga sebagai pendingin, karena dalam trafo terdapat komponen inti besi dan kumparan yang mampu secara aktif dapat membangkitkan energi panas. Bila energi panas ini tidak dapat disalurkan ke dalam sistem pendinginan maka akan mengakibatkan inti besi dan kumparan yang terdiri dari tembaga akan mencapai suhu yang tinggi (*overheat*). Inti besi dan kumparan dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak yang disebut sebagai minyak transformator sebagai media pendinginan dan media isolasi. Tak hanya itu minyak transformator juga dapat berfungsi sebagai pelindung kumparan dari oksidasi, sehingga sangat dibutuhkan minyak transformator yang memiliki kualitas mutu yang tinggi dan senantiasa dalam keadaan bersih.

2.5.4 Bushing

Bushing merupakan komponen penting dari trafo sebagai sarana penghubung antara kumpulan dengan jaringan luar trafo yang terdiri atas empat bagian utama, yaitu konduktor, isolator, klem koneksi, dan aksesoris. Konduktor pada *bushing* diselubungi oleh bahan isolator, dimana bahan ini digunakan sebagai media isolasi atau penyekat antara badan tangki utama trafo dengan konduktor *bushing*.

2.5.5 Tangki Konservator

Konservator berfungsi sebagai penampung minyak trafo dikala trafo mengalami kenaikan suhu. Volume minyak akan bertambah yang akibat minyak isolasi yang memuai ketika sedang terjadi kenaikan suhu, begitu juga sebaliknya. Seiring dengan tidak stabilnya volume jumlah pada minyak di konservator akibat pemuaian serta penyusutan minyak, jumlah kapasitas hawa di dalam konservator juga dapat meningkat serta menurun. Akumulasi ataupun pembuangan hawa di dalam konservator hendak berhubungan dengan hawa luar. Supaya minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban serta oksigen dari luar (buat jenis konservator tanpa *rubber bag*), hingga hawa yang hendak masuk kedalam konservator hendak di filter lewat silica gel sehingga isi uap air bisa diminimalkan.

2.5.6 Tap Changer

Stabilnya tegangan merupakan penilaian yang penting dalam melihat kualitas tegangan sehingga dibutuhkan alat penstabil tegangan keluaran (*output*) pada sisi sekunder trafo ketika besarnya tegangan masukan (*input*) tidak selalu sama, yaitu dengan menggunakan *Tap Changer*. Untuk dapat menyesuaikan tegangan keluaran/sekunder dengan tegangan masukan/ primernya *Tap Changer* bekerja dengan cara mengubah besar jumlah lilitan pada bagian sisi primer, sehingga dapat diharapkan merubah rasio antara lilitan primer dan juga lilitan sekunder. Proses pergantian rasio pada lilitan ini bisa dicoba pada saat kondisi trafo lagi berbeban (*On Load Tap Changer*) ataupun disaat kondisi trafo tidak berbeban (*Off Load Tap Changer*).

2.5.7 Neutral Grounding Resistance (NGR)

Sebelum terhubung ke *ground*/tanah, terdapat sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo yang disebut dengan *Neutral Grounding Resistance* (NGR). NGR dipasang bertujuan untuk mengatur besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah.

Ada dua jenis *Neutral Grounding Resistance* (NGR), yaitu:

1. Liquid, yaitu resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.
2. Solid, yaitu resistornya menggunakan bahan jenis padat terbuat dari *stainless steel*, *FeCrAl*, *cast iron*, *copper nickel* atau *nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.

2.6 Sistem Proteksi pada Transformator

Proteksi ialah suatu sistem pada kelistrikan dan memiliki fungsi sebagai pengisolasi, pemutus dan pemisah apabila memiliki sebuah gangguan baik dalam keadaan abnormal. Sistem proteksi dalam suatu sistem pada jaringan kelistrikan mempunyai peran yang penting, terkhusus pada saat terjadinya sebuah keadaan abnormal yang mendadak pada suatu sistem, gangguan dan masalah jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi pada suatu pembangkit, baik itu dalam jaringan distribusi maupun jaringan transmisi. Dan apabila gangguan ini terjadi, sehingga peran dalam sistem proteksi mampu mengidentifikasi gangguan tersebut, kemudian menjadi pemutus pada bagian yang mendapat suatu gangguan secepat mungkin [11].

Rele proteksi pada suatu sistem proteksi ialah komponen utama yang bisa mendeteksi atau mengidentifikasi jika terjadinya gangguan pada sistem, rele proteksi juga dapat bekerja secara otomatis dengan memerintah atau memberikan intruksi terhadap *Circuit Breaker* (CB) agar menisahkan peralatan sebelu, gangguan itu terjadi [11]. Fungsi dari Rele Proteksi ialah :

1. Membagikan sinyal alarm ataupun membebaskan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) dengan tujuan mengisolir kendala ataupun keadaan abnormal semacam beban lebih, tegangan lebih, peningkatan temperatur, hubung singkat serta lain- lain.
2. Membebaskan ataupun mentriapkan peralatan yang tidak wajar buat menghindari munculnya kehancuran. Misalnya perlindungan beban lebih berperan mengamankan perlengkapan listrik serta menghindari kehancuran isolasi.
3. Membebaskan ataupun mentriapkan perlengkapan yang tersendat secara kilat dengan tujuan kurangi kehancuran yang lebih berat. Misalnya apabila sesuatu mesin listrik secara kilat dilepas sehabis terbentuknya kendala pada belitan, hingga cuma sebagian kumparan saja yang mengalami kehancuran. Namun apabila kendala terjaln secara terus menerus hingga mungkin belitan hendak rusak serta membutuhkan revisi total.
4. Melokalisir mungkin akibat ataupun akibat kendala dengan perlengkapan yang tersendat bisa menimbulkan kendala pada perlengkapan lain yang terletak pada sistem.
5. Membebaskan perlengkapan ataupun bagian yang tersendat secara kilat dengan iktikad

melindungi stabilitas sistem. Sehingga secara simpel Rele Perlindungan berperan buat menghindari kehancuran, menghalangi kehancuran serta menghindari meluasnya kendala sistem.

Persyaratan Sistem Proteksi

Untuk dapat melaksanakan fungsinya, sudah seharusnya sistem proteksi dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut [11] :

1. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan rele bisa dihitung dengan menyamakan jumlah keandalannya. Keandalan rele yang baik merupakan antara 90%- 99%. Keandalan rele pengaman di tentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, serta perawatan.

2. Selektivitas (*Selectivity*)

Setelah rele berfungsi untuk mengamankan perlengkapan atau bagian sistem yang dijangkaunya rele juga harus selektivitas, artinya pada saat terjadi gangguan rele harus memiliki daya beda (*discrimination*), sehingga mampu memilah dengan tepat bagian yang harus dilepaskan dan dijauhkan dari gangguan.

3. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Rele harusnya memiliki kepekaan yang besar terhadap besaran minimum (kritis) sebagaimana direncanakan. Rele wajib bisa bekerja pada dini terbentuknya kendala. Oleh sebab itu, kendala lebih gampang diatasi pada dini peristiwa. Perihal ini membagikan keuntungan dimana kehancuran perlengkapan yang wajib diamankan jadi kecil.

4. Kecepatan kerja

Rele pengaman wajib bisa bekerja dengan cepat bila terdapat kendala, misalnya kebocoran isolasi akibat terdapatnya kendala tegangan lebih sangat lama sehingga perlengkapan listrik yang diamankan bisa hadapi kehancuran. Pada sistem yang besar ataupun luas, kecepatan kerja rele pengaman absolut dibutuhkan sebab buat melindungi kestabilan sistem supaya gangguan tidak terjadi.

5. Ekonomis

Salah satu perihal berarti yang wajib dicermati selaku persyaratan rele pengaman merupakan permasalahan harga ataupun bayaran. Rele tidak hendak diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik bila biayanya mahal. Persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, serta

kecepatan kerja relay sebaiknya tidak menimbulkan harga rele jadi mahal.

6.2 Perangkat Sistem Proteksi

Peralatan-peralatan proteksi terdiri dari [31] :

Rele proteksi sebagai alat yang bekerja secara elektromagnetis mengatur dan memasukkan suatu rangkaian listrik (rangkaiian *trip* dan rangkaian *alarm*) untuk mengatasi adanya masalah.

Pemutus tenaga (PMT) sebagai alat yang dirancang untuk memutus arus gangguan tingkat rendah hingga paling tinggi bila terjadi gangguan pada sistem.

Transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT) yang berguna untuk mengukur arus dan tegangan dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksi menggunakan alat ukur atau alat proteksinya.

Sumber arus searah (batere) berfungsi sebagai perangkat penyimpanan yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik.

Pengawatan (*wiring*) berfungsi untuk menghubungkan, menyalurkan atau meneruskan energi pada bagian-bagian dalam proteksi.

2.7 Gangguan pada Transformator Daya

2.7.1 Gangguan Internal

Gangguan internal merupakan gangguan yang bersumber dari dalam daerah proteksi transformator maupun di luar transformator atau sebatas lokasi pengamanan CT. Gangguan *internal* ini memiliki penyebab di antaranya ialah [32]:

1. Kebocoran minyak
2. Kendala pada *Tap Changer*
3. Ketidaktahanan terhadap arus gangguan
4. Kendala pada *Bushing*
5. Kendala pada sistem pendingin
6. Isolasi yang terjadi kegagalan

7.1.1 Incipient Fault

Incipient fault merupakan gangguan ini terjadi dengan proses yang lambat, gangguan ini akan berkembang menjadi lebih besar jika gangguan tidak dibatasi ataupun tidak terdeteksi. Gangguan jenis ini memiliki beberapa jenis, yaitu [32]:

1. *Overheating*, gangguan ini dapat disebabkan oleh :

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

- a. Ketidaksempurnaan pada sambungan
- b. Bocornya minyak
- c. Aliran sistem pendingin yang tersumbat.
- d. Gagalnya *fan* atau pompa sistem pendingin.

2. *Over Fluxing*

Over fluxing biasanya terjadi saat mengalami gangguan *over voltage* maupun *under voltage*, sehingga gangguan ini dapat mengakibatkan pertambahan rugi-rugi besi yang mengakibatkan pemanasan, dimana pemanasan bisa mengakibatkan kerusakan isolasi lempengan.

3. *Over Pressure*.

Gangguan *over pressure* biasanya di sebabkan oleh banyak faktor di antaranya adalah:

- a. Akibat *over heating* sehingga terlepasnya gas.
- b. Gangguan arus hubung singkat pada belitan se-fasa.
- c. Akibat proses kimia sehingga terlepasnya gas.

1.2 Active Fault

Gangguan *active fault* merupakan gangguan yang di akibatkan kegagalan isolasi atau keagalan komponen lain untuk bekerja yang terjadi begitu cepat dan akan menimbulkan kerusakan yang sangat parah. Gangguan ini biasanya di akibatkan oleh hubung singkat, *core fault*, *tank faults*, *bushing flashovers* [32].

1.2 Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal merupakan gangguan yang terjadi diluar area proteksi transformator itu sendiri. Secara umum gangguan eksternal ini biasanya terjadi di jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan tersier transformator. Biasanya gangguan ini dapat berupa [32]:

1. Pembebanan lebih
2. *Over voltage* yang di akibatkan surja
3. *Over* atau *under frequency* (UF) yang terjadi karena gangguan dari sistem.
4. *External system short circuit* (SC).
5. Hubung singkat yang terjadi pada jaringan sekunder maupun jaringan tersier yang mengakibatkan berkurangnya umur operasi transformator (SCF).

2.8 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat selalu didefinisikan sebagai sesuatu keadaan abnormal yang terjadi secara kebetulan ataupun disengaja pada sistem tenaga listrik melalui impedansi yang relatif antara 2 titik yang memiliki potensial yang berbeda pada saat keadaan normal [33]. Gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik bisa dikelompokkan jadi dua tipe, ialah hubung pendek simetri serta kendala hubung pendek tidak simetri (asimetri). Contoh dari gangguan hubung singkat simetri merupakan hubung pendek 3 fasa, sebaliknya hubung singkat simetri (asimetri) ialah hubung pendek satu fasa ke tanah, hubung pendek 2 fasa, hubung pendek 2 fasa ke tanah, serta hubung pendek 3 fasa ke tanah [34].

Kenaikan nilai arus adalah akibat dari gangguan hubung singkat yang dapat membahayakan peralatan listrik. Pada umumnya gangguan yang kerap terjadi dalam sistem tenaga listrik ialah gangguan asimetri, dimana pada kendala tersebut bisa menyebabkan tegangan serta arus yang mengalir pada tiap fasanya jadi tidak *balance*. Gangguan hubung singkat bisa menyebabkan rusaknya perlengkapan listrik, stabilitas energi jadi menurun serta terhentinya kontinuitas energi akibat terbukanya pemutus tenaga [34].

2.8.1 Hubung Singkat Simetri

Hubung singkat yang terjadi pada semua fasa (3 fasa) dinamakan hubung singkat simetri. Pada kejadian hubung singkat simetri, besar arus tiap fasa adalah sama dan terdapat perbedaan fasa sebesar 120° .

2.8.2 Hubung Singkat Tidak Simetri (Asimetri)

Hubung singkat tidak simetri (*asimetri*) adalah hubung singkat yang menyebabkan besaran arus pada setiap fasanya tidaklah sama, karena arus pada setiap fasa tidak sama sehingga dibutuhkan komponen simetri untuk merepresentasikan keadaan tidak simetri menjadi keadaan simetri. Ada tiga faktor yang ketidak seimbangan pada saluran tiga fasa kemudian bisa untuk diuraikan kedalam tiga sistem fasor dengan seimbang menurut Fortesque, yaitu [35]:

1. Komponen Urutan Positif (*Positive Sequence Components*)

Komponen urutan positif terdiri dari 3 fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° serta memiliki urutan fasa yang sama semacam fasor aslinya.

2. Komponen Urutan Negatif (*Negative Sequence Component*)

Komponen urutan negatif terdiri dari 3 buah fasor yang besarnya sama, terpisah satu

dengan yang yang lain dalam fasa sebesar 120° , serta memiliki urutan fasa yang bertentangan dengan fasor aslinya. Bila dalam keadaan normal cuma ada komponen urutan positif, maka komponen urutan *negative* cuma terdapat dikala terjadinya gangguan.

3. Komponen Urutan Nol (*Zero Sequence Components*)

Komponen urutan nol terdiri dari 3 fasor yang sama besar serta tidak terdapat perpindahan fasa (0°) antara fasor yang satu dengan lainnya.

2.9 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Sebelum melakukan perhitungan pada *setting* proteksi rele diferensial, perlu dilakukan perhitungan arus hubung singkat. Perhitungan arus hubung singkat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut [36].

2.9.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat 3 fasa terjadi ketika ketiga fasanya terhubung, sehingga akan mengalir arus yang sangat besar. Salah satu penyebab terjadinya hubung singkat ini akibat pohon yang menjulang tinggi yang berayun sewaktu angin kencang mengenai ketiga kawat pada transmisi dan distribusi. Hubung singkat 3 fasa juga disebut dengan arus hubung singkat maksimum.



Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat 3 fasa [37]

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa adalah sebagai berikut:

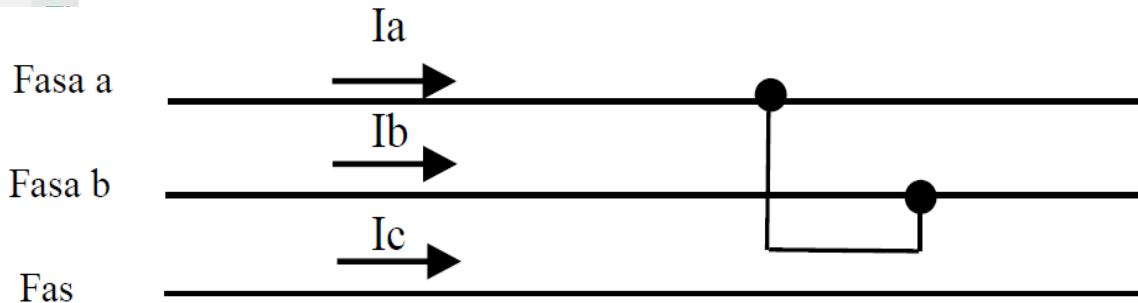
$$I_{sc\ 3\ \phi} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (2.6)$$

dimana:

- $I_{sc\ 3\ \phi}$ = Arus hubung singkat 3 fasa
- V_{LN} = Tegangan fasa ke netral
- Z_1 = Impedansi urutan positif

Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Hubung singkat 2 fasa terjadi ketika dua fasa yang saling terhubung. Arus hubung singkat biasanya disebut dengan arus hubung singkat minimum karena dipengaruhi oleh banyaknya impedansi. Salah satu penyebab terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya fasa tengah pada transmisi atau distribusi.



Gambar 2.4 Gangguan hubung singkat 2 fasa [36]

Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa adalah sebagai berikut:

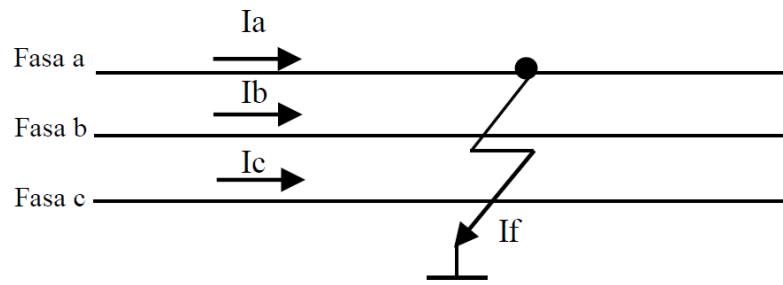
$$I_{sc\ 2\ \phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} \quad (2.7)$$

dimana:

- ϕ = Arus hubung singkat 2 fasa
- V_{LL} = Tegangan fasa ke fasa
- Z_1 = Impedansi urutan positif
- Z_2 = Impedansi urutan negatif

Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi apabila salah satu fasa terhubung ke tanah. Hubung singkat satu fasa ke tanah ini sangat dipengaruhi oleh jenis *grounding* yang digunakan. Salah satu penyebab terjadinya gangguan ini karena *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.



Gambar 2.5 Gangguan satu fasa ke tanah [36]

Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah sebagai berikut:

$$I_{sc \ 1 \ \phi \ to \ ground} = \frac{V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.8)$$

Dimana:

$\phi \ to \ ground$ = Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

= Tegangan fasa ke fasa

= Impedansi urutan nol

= Impedansi urutan positif

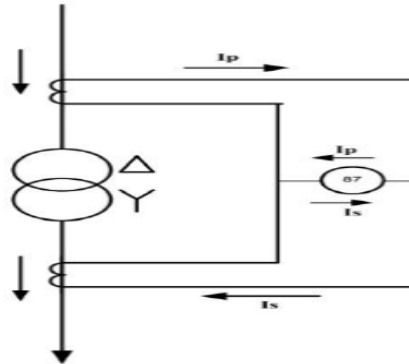
= Impedansi urutan negatif

2.10 Rele Diferensial

Rele Diferensial merupakan rele yang diambil dari kata diferensial yang artinya perbedaan atau selisih, bekerja berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu dengan cara membandingkan jumlah arus yang masuk (I_p) dengan jumlah arus yang keluar (I_s) pada daerah yang diproteksi [32]. Pada trafo daya, Rele Diferensial digunakan untuk mengamankan belitan trafo bila terjadi gangguan hubung singkat. Rele ini akan memberikan instruksi pada PMT untuk melakukan *trip* ketika terjadi gangguan [14]. Bila terjadi gangguan dalam transformator, Rele akan bekerja ketika timbul selisih perbedaan antara arus yang masuk dan keluar dari transformator. Tidak hanya trafo daya saja, Rele Diferensial berfungsi sebagai proteksi utama yang dapat melindungi generator, busbar, hingga saluran transmisi terhadap gangguan sehingga dapat terhindar dari kerusakan yang fatal [37].

2.10.1 Kondisi Normal

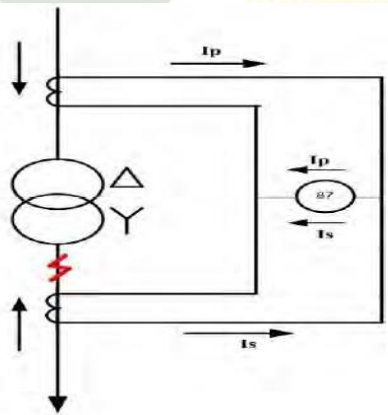
Pada operasi normalnya Rele Diferensial hanya akan melihat gangguan apabila terjadi di daerah yang diproteksinya dan tidak terpengaruh dengan gangguan dari luar. Rele Diferensial tidak akan bekerja dikarenakan jumlah arus yang masuk (I_p) dan keluar (I_s) pada rele akan sama dengan nol sehingga sistem ini seimbang [36].



Gambar 2.6 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Normal [36]

10.2 Kondisi Gangguan Internal

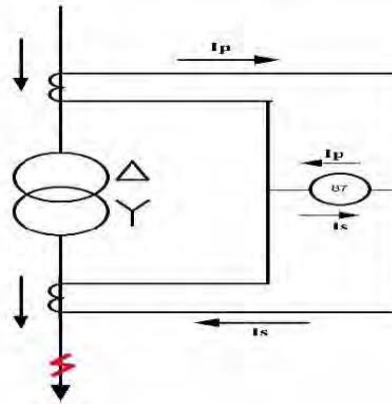
Jika terjadi gangguan didalam (internal) pada daerah proteksinya, Rele Diferensial akan bekerja dikarenakan besar jumlah arus masuk (I_p) dan keluar (I_s) pada rele lebih besar dari nol, ini berarti terjadi perbedaan atau selisih arus sehingga tidak sama dengan nol. Terjadinya perbedaan arus ini disebabkan karena pada saat CT1 mengalir arus I_p maka pada CT2 tidak ada arus yang mengalir ($I_s=0$) akibat mengalirnya arus pada CT2 secara berbalik arah dari arah normalnya menuju titik gangguan internal tersebut [36].



Gambar 2.7 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Gangguan Internal [36]

10.3 Kondisi Gangguan Eksternal

Jika terjadi gangguan diluar (eksternal) daerah proteksinya, Rele Diferensial tidak akan bekerja dikarenakan besar jumlah arus masuk (I_p) dan keluar (I_s) tetap sama. Hal ini dikarenakan pada saat terjadi gangguan diluar daerah proteksinya, besar arus yang mengalir pada sekunder CT1 dan CT2 yang menuju *Relay* besarnya sama ($I_p=I_s$) sehingga membuat rele tetap tidak bekerja [36].



Gambar 2.8 Rangkaian Rele Diferensial Kondisi Gangguan Eksternal [36]

Karakteristik Rele Diferensial

Berdasarkan Gambar 2.19, garis kurva menunjukkan *setting relay* diferensial. Daerah diatas kurva merupakan daerah operasi *relay* diferensial. Setiap rele diferensial perlu dilengkapi dengan nilai *setting* guna memberikan karakteristik *tripping* tertentu. Karakteristik ini yang akan mempermudah dalam mengenal jenis gangguan yang terjadi. Pada kondisi ideal, nilai arus saat terjadi gangguan eksternal maupun kondisi normal akan sama dengan nol, tetapi pada kondisi nyata terdapat beberapa *error* yang dapat menyebabkan arus tidak akan tepat bernilai nol [40]. Oleh karena itu, nilai *setting* arus pada *relay* diferensial harus disesuaikan dengan mempertimbangkan setiap kondisi baik kondisi normal, gangguan eksternal maupun gangguan internal peralatan sehingga *relay* dapat bekerja dengan tepat.



Gambar 2.9 Kurva Karakteristik Rele Diferensial [38]

2.12 Setting Rele Diferensial

Dalam menentukan nilai *setting* Rele Diferensial pada trafo daya yang terpasang dapat dilakukan perhitungan arus yaitu apabila akan menentukan besar rasio CT, dilakukan perhitungan arus nominalnya, lalu dilakukan perhitungan *error mismatch* dan menghitung parameter lainnya

seperti arus sekunder pada CT, arus diferensial, arus *restrain* (penahan), persen slope dan Rele Diferensial. Dalam menghitung nilai rasio CT, melakukan perhitungan arus rating terlebih dahulu [32].

2.12.1 Perhitungan Rasio CT (Arus Rating)

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada tegangan tinggi dan tegangan rendah, sedangkan arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT. Perhitungan arus *rating* menggunakan rumus [32]:

$$I_{rating} = I_n \times 110\% \quad (2.9)$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.10)$$

Dimana:

I_n = Arus nominal (A)

S = Daya pada transformator (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sisi sekunder (kV)

2.12.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Kesalahan dalam membaca besarnya arus di sisi trafo tegangan tinggi dan tegangan rendah, pergeseran fasa pada transformator disebut dengan *error mismatch*. Dilakukan cara perbandingan antara rasio CT dengan CT yang biasanya di pasaran dengan ketentuan tergantung karakteristik kelas CT nya dalam menghitung nilai arus *mismatch*. Sebelum itu juga perlu didapatkan hasil perhitungan dari CT ideal agar nantinya *error mismatch* dapat dibandingkan. Adapun perhitungan *error mismatch* menggunakan rumus [32] :

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.11)$$

$$CT_1 (ideal) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad (2.12)$$

$$Error Mismatch = \frac{CT ideal}{CT terpasang} \% \quad (2.13)$$

Dimana:

CT ideal = Trafo arus yang ideal

V_1 = Tegangan pada sisi tinggi

V_2 = Tegangan pada sisi rendah

2.12.3 Perhitungan Arus Sekunder pada CT

Arus sekunder CT merupakan arus terbaca oleh trafo arus (CT) yang mengalir pada Rele.

Perhitungan arus sekunder menggunakan rumus [32] :

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \quad (2.14)$$

2.12.4 Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

Rumus arus diferensial adalah [32] :

$$I_d = I_2 - I_1 \quad (2.15)$$

Dimana:

I_d = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT₁

I_2 = Arus Sekunder CT₂

2.12.5 Perhitungan Arus *Restrained* (Penahan)

Arus penahan (*restrain*) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder transformator di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah dengan menjumlahkan arus yang keluar pada CT primer dengan arus yang keluar pada CT sekunder dan membaginya dengan dua [32].

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2.16)$$

Dimana:

I_r = Arus Penahan (*Restrained*)

I_1 = Arus Sekunder CT₁

I_2 = Arus Sekunder CT₂

2.12.6 Perhitungan Slope (%)

Membagi arus diferensial dengan arus penahan (*restrain*) merupakan cara untuk memperoleh besar nilai *slope*. *Slope 1* berfungsi sebagai memastikan bahwa apabila terjadi gangguan internal maka rele memiliki sensitifitas yang baik sehingga gangguannya relatif kecil dan memastikan bagaimana kondisi arus diferensial dan arus *restrain*. Sedangkan *slope 2* berfungsi sebagai ketika nantinya terjadi gangguan pada luar daerah yang diamankan dengan nilai arus gangguan besar maka Rele Diferensial tidak beroperasi. Rumus yang digunakan untuk mencari % *slope 1*, dan % *Slope 2* yaitu:

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (2.17)$$

$$Slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2\right) \times 100\% \quad (2.18)$$

Dimana:

$Slope_1$ = Setting kecuraman 1

$Slope_2$ = Setting kecuraman 2

I_r = Arus Penahan (*Restrain*)

I_d = Arus Diferensial

2.12.7 Perhitungan Arus Setting

Arus *setting* dapat dihitung dengan cara mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* yang didapatkan, nantinya kan dilakukan perbandingan dengan arus diferensial, dengan rumus sebagai berikut [32] :

$$I_{set} = \%Slope \times I_r \quad (2.19)$$

Dimana:

I_{set} = Arus *Setting*

$\%Slope$ = Setting Kecuraman (%)

I_r = Arus Penahan (*Restrain*)

2.13 ETAP 16.0.0

Dalam melakukan simulasi suatu sistem tenaga listrik dapat digunakan aplikasi salah satunya adalah *Electrical Transient and Analysis Program* (ETAP). Aplikasi ini dapat digunakan untuk menganalisa dari hasil simulasi perancangan suatu sistem tenaga listrik, selain itu juga dapat digunakan seperti hal-hal berikut [39]:

1. Menggambarkan denah beban-beban yang telah dimasukkan.
2. Dapat dilakukan pengaturan pada data jaringan dan data beban.
3. Melakukan perancangan diagram satu garis (*singe line diagram*) pada lembar *project*
4. Melakukan analisis aliran daya (*load flow*) secara mendalam.
5. Dapat melakukan perhitungan arus hubung singkat (*short circuit*)
6. Mampu melakukan analisis ketika motor dilakukan *starting* (transien)
7. Koordinasi proteksi

Pada aplikasi ini mempunyai dua standar yaitu standar ANSI dan standar IEC, yang membedakan antara kedua standar ini adalah pada simbol-simbol komponen yang ditampilkan.

Simbol menggambarkan setiap komponen tertentu pada area kerja, serta spesifikasi yang berbeda pada perpustakaan ETAP juga dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan atau data dari perpustakaan [39].

1.3.1 Simbol Komponen pada ETAP

Aplikasi ETAP ini memiliki simbol pada komponen-komponen listrik seperti Transformator, Beban, *Power Grid*, Generator, *Bus*, Rele dan lain sebagainya. Adapun untuk simbol komponen-komponen listrik pada *software* ini dapat dilihat pada gambar berikut

Power Grid

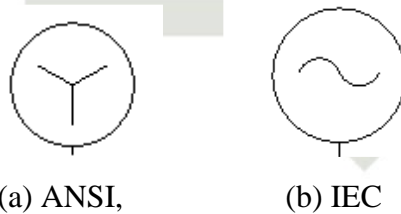
Pada umumnya *Power Grid* dapat berupa Generator dari pembangkit ataupun Gardu Induk, hingga dapat diartikan bahwa *Power Grid* adalah sumber tegangan yang dapat melakukan *supply* daya dengan tegangan yang konstan [42].



Gambar 2.10 Simbol *Grid* [39].

Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi sebagai sumber tegangan atau tenaga listrik. Ada perbedaan antara simbol generator berdasarkan standar ANSI dan IEC, perbedaan keduanya dapat dilihat dibawah ini [39].



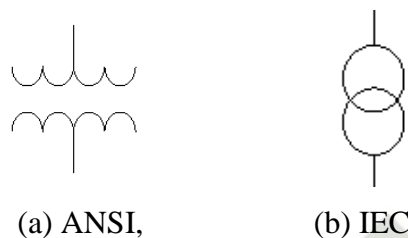
Gambar 2.11 Simbol Generator [39].

Bus

Bus atau *Busbar* merupakan wadah dalam tersambungny susunan dari komponen sistem tenaga listrik yang saling terintegrasi seperti *Power Grid*, saluran transmisi dan distribusi hingga beban. Besar tegangan setiap bus yang berbeda-beda dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan, seperti 150 kV merupakan contoh apabila di hubungkan dari generator pembangkit [39].

Transformator

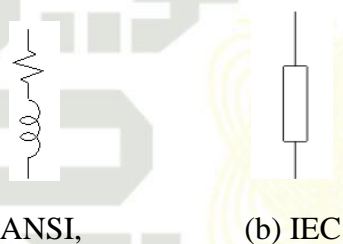
Transformator atau trafo adalah komponen listrik pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up*) atau menurunkan tegangan (*step down*) [39].



Gambar 2.12 Simbol Transformator [39].

Konduktor/kabel

Konduktor adalah media yang berfungsi dalam menyalurkan arus listrik yang saling terintegrasi baik dari pembangkit melalui saluran transmisi ke distribusi hingga ke konsumen.



Gambar 2.13 Simbol Kabel [39].

Beban

Beban adalah peralatan listrik yang menyerap atau memanfaatkan daya dari jaringan tenaga listrik. Pada ETAP ada dua jenis beban, yaitu *Static Load* dan *Lump Load*. *Static load* adalah beban yang tidak banyak mengandung motor listrik sehingga tidak banyak mempengaruhi tegangan sistem saat *starting* [39].

2.14 Analisis Koordinasi Nilai *Setting* Rele Diferensial

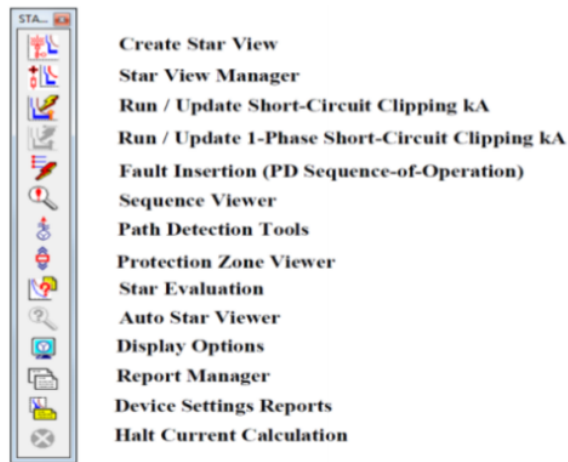
Analisis ini dilakukan untuk melihat kinerja komponen sistem proteksi seperti rele dan *Circuit Breaker* (CB) ketika diberikan variasi gangguan hubung singkat. Diantara simbol dari gangguan hubung singkat pada ETAP 16.0.0 yakni sebagai berikut :



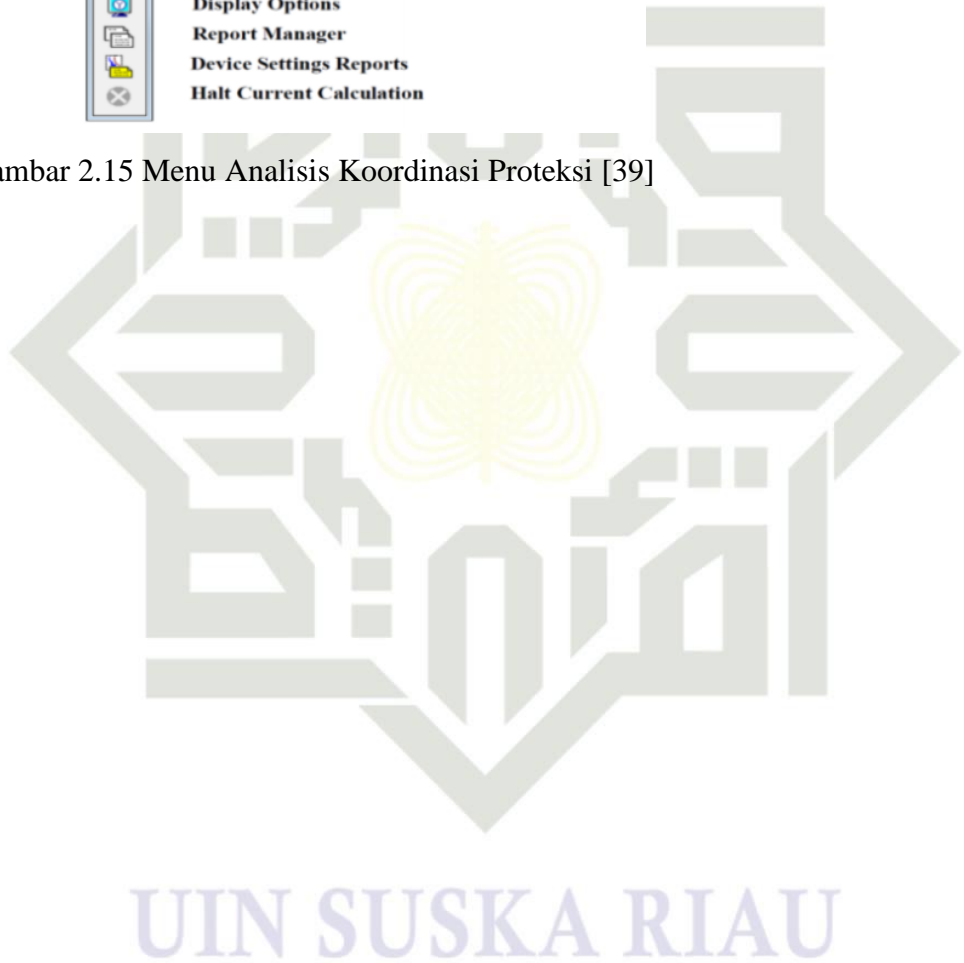
Gambar 2.14 Menu Gangguan Hubung Singkat pada ETAP 16.0.0 [39]

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

Dalam analisis koordinasi proteksi menggunakan ETAP 16.0.0 juga dapat dilihat menu analisis secara keseluruhan seperti berikut :



Gambar 2.15 Menu Analisis Koordinasi Proteksi [39]



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode deskriptif. Penelitian kuantitatif adalah suatu metode penelitian yang spesifikasinya meliputi suatu struktur yang sistematis, terencana, jelas dan tepat. Metode deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mendeskripsikan atau memberikan gambaran tentang objek penelitian melalui data atau sampel yang dikumpulkan tanpa rekayasa. Metode deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian atau hasil penelitian.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) ULTG Gardu Induk Pasir Putih yang terletak di Pasir Putih, Desa Baru Km. 10,5 Kecamatan Siak Hulu Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Gardu Induk (GI) Pasir Putih memiliki 3 unit transformator daya, dimana terdapat 1 unit transformator 60 MVA dan 2 unit lainnya dengan masing-masing daya sebesar 30 MVA. Adapun alasan pemilihan lokasi adalah sebagai berikut:

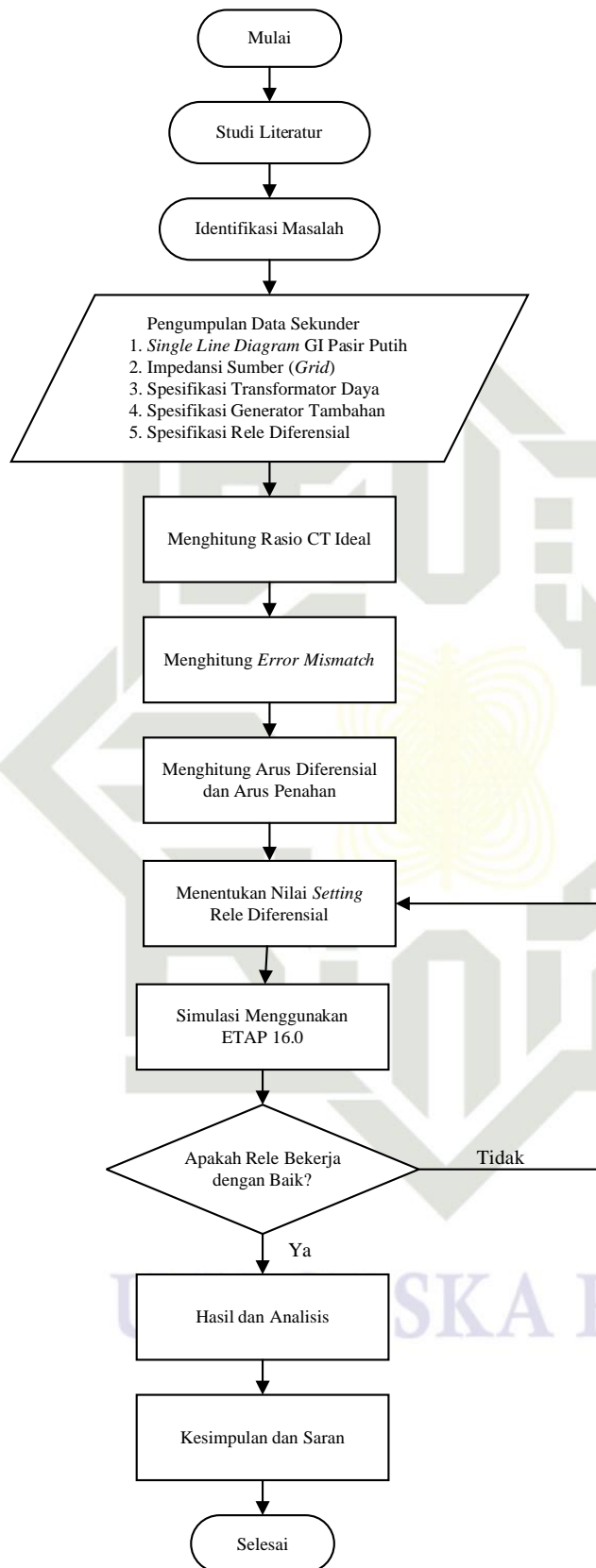
1. Berdasarkan hasil wawancara dengan Pak Andreas F. Purba selaku Supervisor Gardu Induk Pasir Putih, mengatakan bahwa pada tahun 2021, pihak UPT Pekanbaru Gardu Induk Pasir Putih akan melakukan *uprating* pada trafo 30 MVA menjadi 60 MVA, akibat meningkatnya beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat sehingga perlu dilakukannya *resetting* nilai Rele Diferensial guna meminimalisir gangguan hubungan singkat.
2. Gardu Induk Pasir Putih ke Gardu Induk Garuda Sakti mempunyai jaringan sistem yang cukup panjang dengan panjang kurang lebih sekitar 31,16 kms.

3.3 Tahapan Penelitian

Identifikasi masalah, menentukan masalah, dan mengkaji kembali penelitian-penelitian terkait yang sebelumnya pernah dilakukan merupakan tahapan awal dari penelitian ini. Setelah itu dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan terkait penelitian yaitu dengan menggunakan data sekunder. Kemudian setelah data sekunder yang dibutuhkan telah di dapat, data tersebut dilakukan pengolahan dan analisis. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dari diagram alir penelitian sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Studi Literatur

Tahapan ini merupakan pencarian teori-teori terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Tahap ini meliputi pencarian sejumlah sumber referensi, terkait jurnal penelitian sebelumnya dan buku. Pada jurnal penelitian terkait akan dilakukan analisa mengenai teori yang dipakai dan metode apa yang digunakan. Sedangkan pada buku akan diambil teori pendukung dalam penelitian.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini terdiri dari langkah-langkah dalam melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah akibat meningkatnya beban terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat, diperlukan *uprating* pada trafo 30 MVA menjadi 60 MVA sehingga hal ini tentu akan mempengaruhi pengaturan nilai *setting* pada sistem proteksi trafo khususnya pada Rele Diferensial di Gardu Induk Pasir Putih.

2. Membuat Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah melakukan *resetting* Rele Diferensial pada trafo 60 MVA akibat adanya *uprating* guna mengantisipasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi sehingga dapat menghindari kegagalan proteksi dan meningkatkan kualitas operasional sistem transmisi.

3. Menentukan Judul

Sebagai kerangka dasar berfikir dalam suatu penelitian untuk menggambarkan penelitian secara garis besar, maka perlu direpresentasikan kedalam suatu judul. Berdasarkan permasalahan dan tujuan maka peneliti menetapkan judul “**Analisis Resetting Rele Diferensial sebagai Sistem Proteksi untuk Uprating Trafo 60 MVA di Gardu Induk Pasir Putih**”.

3.6 Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder milik PT.PLN PERSERO Unit Penyaluran Transmisi (UPT) Pekanbaru dan pihak Gardu Induk Pasir Putih. Di antara data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *single line diagram*, data impedansi busbar, spesifikasi transformator daya, spesifikasi pembangkit tambahan, dan spesifikasi Rele Diferensial adalah sebagai berikut:

Single Line Diagram (SLD) GI Pasir Putih



III-4

Single Line Diagram (SLD) pada gambar 3.2 merupakan milik PT. PLN Persero UPT Pekanbaru Gardu Induk Pasir Putih. Gambar SLD di atas merupakan gambaran keseluruhan rangkaian dan konfirasi jaringan Gardu Induk Pasir Putih. Data ini diperlukan sebagai acuan dalam membuat rangkaian dan konfigurasi jaringan pada *software* ETAP 16.0.0.

Data Impedansi Sumber

Data impedansi sumber yang diambil berupa arus hubung singkat tiga fasa yang diambil dari data milik Gardu Induk Pasir Putih.

3.1 Data Hubung Singkat [40]

DATA ARUS HUBUNG SINGKAT UPT PEKANBARU								
Digsilent 15 Januari 2021								
Gardu Induk	Isc (Amp)		Positive Seq. (pu)		Negative Seq. (pu)		Zero Seq. (pu)	
	1phs	3phs	R1	X1	R2	X2	Ro	Xo
Garuda Sakti	18358	15947	0.00386	0.02562	0.00431	0.02626	0.00171	0.0144
Teluk Lembu	16053	14557	0.00422	0.02795	0.0047	0.02873	0.00239	0.01892
Bangkinang	7171	7739	0.00957	0.05205	0.0095	0.05276	0.00986	0.01651
Koto Panjang	10254	9862	0.0072	0.04077	0.00759	0.04162	0.00285	0.03418
Duri	7456	7449	0.01215	0.05628	0.01267	0.00581	0.00889	0.0552
Dumai	5120	4835	0.0201	0.08698	0.02058	0.08654	0.00675	0.06986
Bagan Batu	4546	4695	0.02645	0.08765	0.02671	0.0875	0.01362	0.09543
Koto Pinang	4697	4822	0.02693	0.08525	0.02714	0.08524	0.01448	0.09089
Balai Pungut	11943	10266	0.00598	0.04089	0.00663	0.04033	0.00115	0.0235
Tenayan	18789	16127	0.00326	0.02543	0.00374	0.02617	0.00129	0.01342
Pasir Putih	14390	15915	0.0038	0.02569	0.00425	0.02634	0.00194	0.01516
Pangkajene	8190	9737	0.00747	0.04199	0.00784	0.04255	0.01065	0.06471
Kerinci	14301	13130	0.00413	0.03131	0.00459	0.03195	0.00238	0.02200
Perawang	14110	13905	0.00429	0.02955	0.00473	0.03009	0.00489	0.02701
New Garuda Sakti	2655	2450	0.04119	0.16344	0.04158	0.16417	0.00935	0.12111
Pasir Pangaran	2820	3060	0.03429	0.1378	0.03477	0.13735	0.02505	0.17814
Bagan Siapi-api	3780	3644	0.02803	0.1152	0.0285	0.11475	0.01097	0.09977
KID	3764	3631	0.02814	0.11562	0.02862	0.11517	0.01101	0.10034
WINA	4413	5051	0.01271	0.08131	0.1318	0.08194	0.01936	0.11566
Siak	18992	16235	0.00324	0.02527	0.00372	0.02597	0.00114	0.01315
PLTGU Riau								

Pada Tabel 3.1 diatas terlihat data yang dibutuhkan berupa nilai arus hubung singkat, reaktansi (X) dan resistansi (R). Data yang dibutuhkan milik Gardu Induk Pasir Putih dengan arus hubung singkat 1 fasa 14.390 A dan hubung singkat 3 fasa 1.5915 A. Untuk data reaktansi dan resistansi dibutuhkan data urutan, yaitu urutan positif, negatif dan urutan nol.

Spesifikasi Transformator Daya

Tabel 3.2 Spesifikasi Transformator Daya GI Pasir Putih

Merk	UNINDO TRAFO
No. Seri	P060LEC843-07
Standar	60076
Fasa	RST (3 fasa)
Kapasitas Daya	60 MVA
Tegangan High Voltage	150 kV
Tegangan Low Voltage	22 kV
Berat Trafo	82700 kg
Vektor Grup	YNyn0+d
Sistem Pendinginan	ONAF
Impedansi	12,50%

Pada Tabel 3.2 diatas merupakan data Transformator Daya yang akan digunakan untuk *uprating* trafo daya 30 MVA menjadi 60 MVA sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.

Data Generator Tambahan

Data yang dibutuhkan untuk memasukkan data ke dalam aplikasi ETAP yaitu besar kapasitas MW sebesar 2 x 110 MW yang berasal dari Pembangkit terdekat yaitu di PLTU Pelayan Raya dengan tegangan nominal sebesar 11 kV.

Data Spesifikasi Rele Diferensial

Tabel 3.3 Spesifikasi Rele Diferensial GI Pasir Putih

Merk	ALSTOM
Tipe Rele	P643
CT High Voltage	300/1 A
CT Low Voltage	2000/1 A

Pada Tabel 3.3 diatas merupakan data Spesifikasi Rele Diferensial yang akan digunakan sebagai proteksi untuk *uprating* trafo daya 30 MVA menjadi 60 MVA.

3.7 Menghitung Rasio CT Ideal

Dari data spesifikasi Rele Diferensial yang akan digunakan sebagai proteksi maka dapat dilakukan untuk perhitungan nilai *setting* Rele Diferensial seperti pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Rasio CT ideal

Keterangan	Rasio CT sisi 22 kV	Rasio CT sisi 150 kV
$I_{nominal}$	1574,6 A	230,94 A
I_{rating}	1732,06 A	254,034 A
$I_{sekunder CT}$	3,9365 A	3,849 A
Rasio CT ideal	409,10 A	58,6 A

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, perhitungan rasio CT ideal berfungsi untuk menentukan pembacaan arus baik dari sisi primer maupun sekunder.

3.8 Menghitung Error Mismatch

Setelah nilai rasio CT ideal didapatkan, maka Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *error mismatch* seperti pada table 3.5 berikut:

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan *Error Mismatch*

<i>Error mismatch sisi 22 kV</i>	<i>Error mismatch sisi 150 kV</i>
1,0228 %	0,1953 %

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, besar *error mismatch* pada sisi 150kV yaitu 0,1953% dan besar *error mismatch* pada sisi 22kV yaitu 1,0228%. Nilai ini masih dalam zona aman dikarenakan nilainya tidak melebihi diatas 4% masih jauh dibawah batas nilai maksimal sesuai dengan standar PLN yaitu kesalahan pembacaan atau *error missmatch* 4%.

3.9 Menentukan Arus Diferensial dan Arus Penahan

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Arus Diferensial dan Arus Penahan

Keterangan	Hasil
$I_{diferensial}$	0,0875 A
$I_{restrain}$	3,8928 A

Pada Tabel 3.6 diatas merupakan hasil perhitungan arus diferensial dan arus penahan yang merupakan arus yang didapat dari arus sekunder transformator baik pada tegangan tinggi dan rendah.

3.10 Menentukan Nilai *Setting* Rele Diferensial

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan *Slope* dan Arus *Setting*

Keterangan	Hasil
<i>Slope</i> 1	22,4 %
<i>Slope</i> 2	44,9 %
$I_{setting}$	0,8719 A

Pada Tabel 3.7 diatas merupakan hasil perhitungan *slope* dan arus *setting*, nilai arus *setting* inilah yang nanti akan diberikan variasi gangguan hubung singkat.

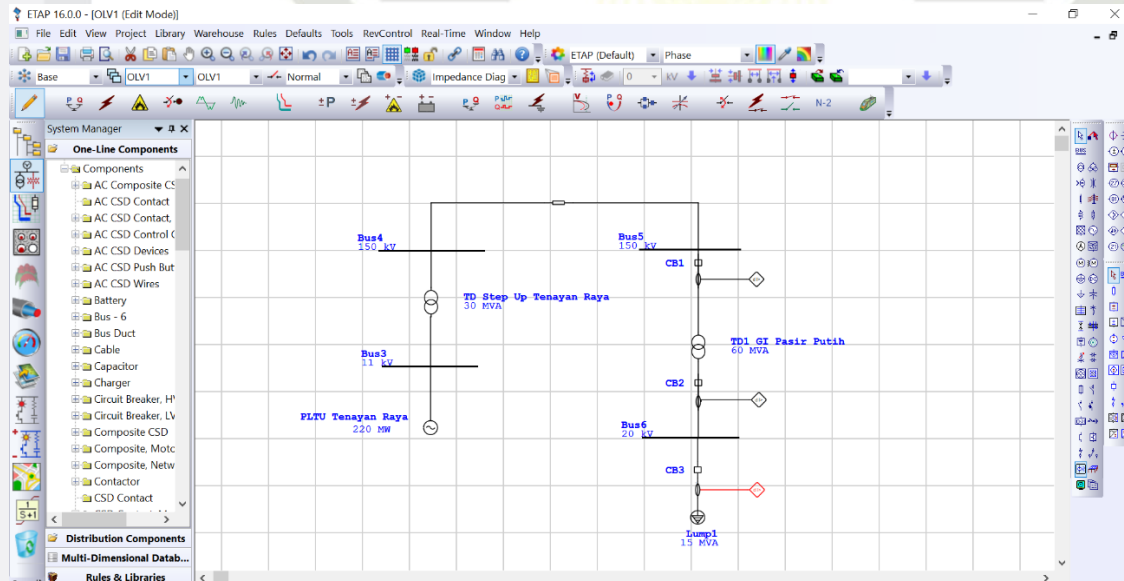
3.11 Simulasi ETAP 16.0.0

Langkah awal dalam melakukan simulasi menggunakan ETAP 16.0.0 adalah dengan memasukkan (*input*) data saluran berdasarkan data sekunder yang telah diberikan oleh pihak PT. (Persero) Gardu Induk Pasir Putih. Kemudian dilakukan simulasi nilai *setting* Rele Diferensial. Untuk lebih rinci, adapun tahapan-tahapannya yaitu sebagai berikut :

3.11.1 Input Data Jaringan

Diantara langkah dalam menentukan parameter jaringan adalah sebagai berikut :

Merancang *Single Line Diagram* Gardu Induk Pasir Putih



Gambar 3.3 Tampilan Lembar *Project* ETAP 16.0.0

Untuk melakukan simulasi aliran daya pada sistem tenaga listrik, maka diperlukan sebuah *single line diagram* sistem tenaga listrik tersebut. Gambar *single line diagram* Gardu Induk Pasir Putih yang telah didapatkan selanjutnya akan di rancang ke dalam lembar *project software* ETAP 16.0.0 Adapun analisis yang dilakukan pada simulasi ini adalah analisis proteksi, analisis aliran

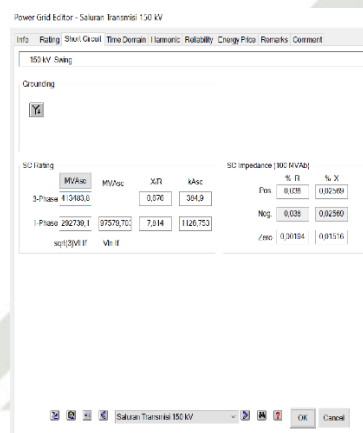
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Pengutipan tidak mengabaikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau penyusunan sumber.

daya, analisis koordinasi *setting* Rele Diferensial ketika diberikan pengujian variasi gangguan hubung singkat.

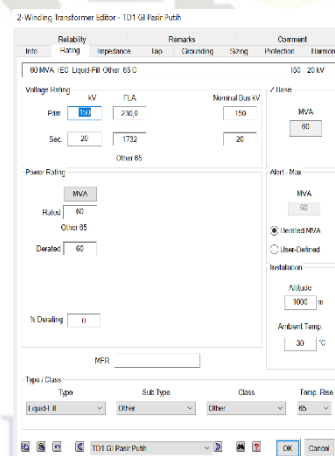
Menentukan Impedansi Sumber

Pada dasarnya peneliti tidak harus membuat *single line diagram* secara menyeluruh dikarenakan impedansi sumber dapat mewakili arus hubung singkat 3 fasa pada *Grid*, yaitu dengan memasukkan besar nilai hubung singkat maka secara otomatis dapat diketahui besar impedansi sumbernya. Sehingga peneliti sudah cukup menggambar *single line diagram* trafo unit 1.



Gambar 3.4 Input Data *Grid*

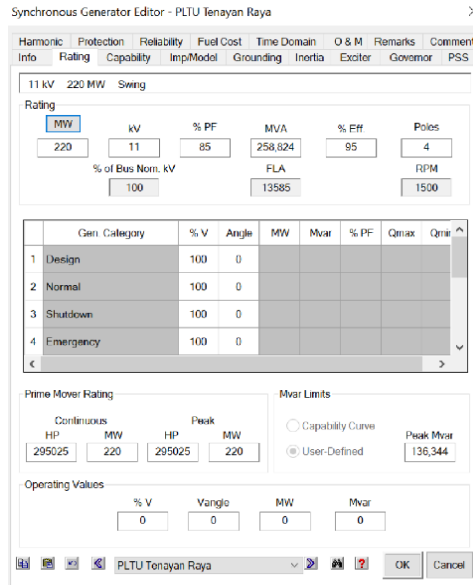
Input Data Transformator



Gambar 3.5 Input Data Transformator

Pada gambar 3.5 diatas, peneliti menginputkan data spesifikasi trafo berdasarkan data yang telah diberikan oleh pihak PT. PLN Gardu Induk Pasir Putih. Data trafo yang di masukkan dalam simulasi ini yaitu adalah kapasitas 60 MVA, tegangan nominal primer/sekunder 150/20 kV, impedansi 12,5% dan koneksi belitan pada trafo.

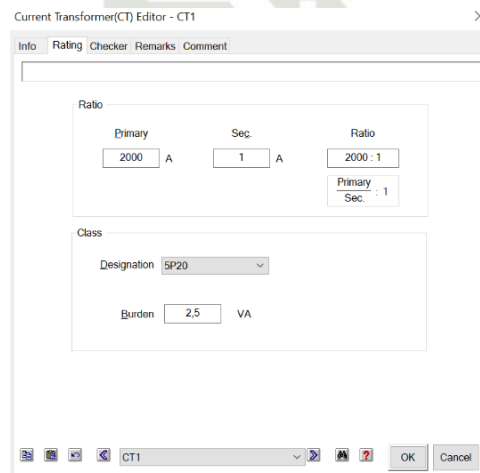
Input Data Generator



Gambar 3.6 Input Data Generator

Pada gambar 3.6 diatas, peneliti memasukkan data sesuai menginputkan data spesifikasi berdasarkan data yang telah diberikan oleh pihak PT. PLN Gardu Induk Pasir Putih yaitu kapasitas daya (MW) sebesar 220 MW (2x110 MW) dan tegangan nominal/tegangan kerja sebesar 11 kV.

Input Data Trafo Arus

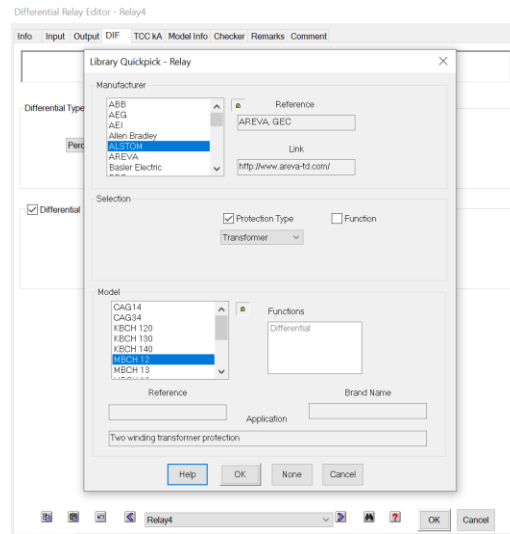


Gambar 3.7 Input Data Trafo Arus

Pada gambar 3.7 diatas, langkah yang peneliti lakukan yaitu memasukkan nilai rasio trafo arus atau *Current Transformer* (CT), rasio tersebut membandingkan besar arus jaringan dengan arus yang terbaca oleh rele.

Input Data *Setting* Rele Diferensial

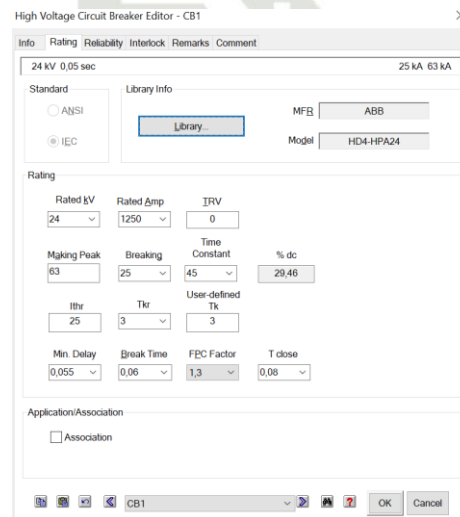
Dalam tahapan ini peneliti memasukkan data *setting* rele yang telah dihitung secara manual pada tahap sebelumnya.



Gambar 3.8 Input Data *Setting* Rele Diferensial

Input Data PMT

Dalam tahapan ini peneliti memasukkan data pemutus tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) yaitu dengan menyesuaikan merek, model, tegangan, rating arus dan waktu kerja CB nya.



Gambar 3.9 Input Data PMT

Input Data Konduktor

Gambar 3.10 Input Data Konduktor SUTT

Pada gambar 3.10 di atas, merupakan input data saluran pada *software* ETAP 16.0.0, meliputi diameter penampang (mm^2), merek, jenis, dan panjang saluran (m).

Input Data Beban

Loading	Category	%	Motor Load		Static Load	
			MW	Mvar	MW	Mvar
1 Design		100	12,75	7,902	0	0
2 Normal		100	12,75	7,902	0	0
3 Brake		0	0	0	0	0
4 Winter Load		0	0	0	0	0
5 Summer Load		0	0	0	0	0
6 FL Reject		0	0	0	0	0

Gambar 3.11 Input Data Beban

Pada gambar 3.11 di atas, merupakan input data beban pada *software* ETAP 16.0.0, meliputi daya semu (kVA), daya reaktif (kVAR), daya aktif (kW), arus (I) dan faktor daya (θ).

3.1.2 Simulasi Aliran Daya

Menu pada simulasi aliran daya masing-masing memiliki fungsi yang berbeda-beda, adapun fungsi menu dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3.12 Fungsi Menu Simulasi Aliran Daya

Aliran daya, menu untuk menjalankan simulasi aliran daya

Alert, menu untuk menampilkan komponen yang mengalami kondisi kritis

Display, untuk mengatur tampilan layar

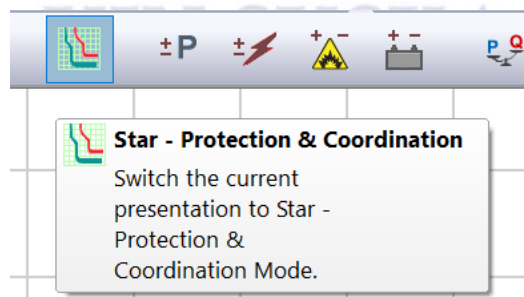
Unit, menu untuk menampilkan satuan unit (ampere, volt, watt dan lain-lain)

Arus, untuk menampilkan nilai arus

Tegangan, untuk menampilkan nilai tegangan

3.1.3 Simulasi Kinerja Rele Diferensial

Setelah memberikan gangguan hubung singkat, maka tahapan terakhir adalah analisis kinerja relai. Analisis kinerja relai dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat. Dalam menu “Star – Protection & Coordination” pada ETAP 16.0.0 dilakukan simulasi nilai *setting* peralatan proteksi untuk melihat apakah nilai *setting* sudah tepat apabila diberi gangguan hubung singkat.



Gambar 3.13 Fungsi Menu Simulasi Rele Proteksi

Analisa Hasil

Analisa hasil simulasi koordinasi Rele Diferensial yang direpresentasikan ke dalam bentuk kurva karakteristik rele. Oleh karena itu, nilai *setting* arus pada Rele Diferensial harus disesuaikan dengan mempertimbangkan setiap kondisi baik kondisi normal, gangguan eksternal maupun gangguan internal peralatan sehingga Rele Diferensial dapat bekerja dengan tepat dengan melakukan *resetting* kembali.

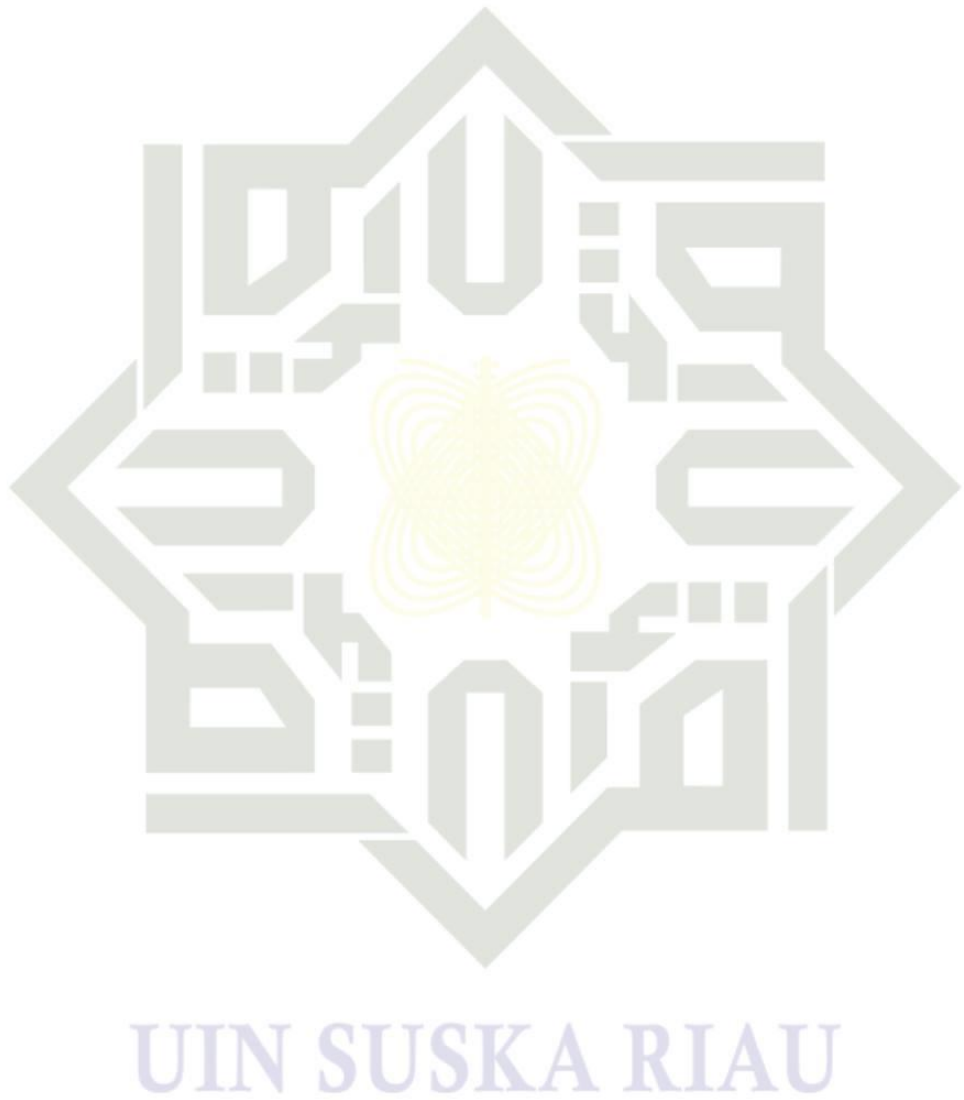
3.12

Cipta n g-Undang

Uji kuran, Pengkurva dengan gangguan internal peralatan sehingga Rele Diferensial dapat bekerja dengan tepat dengan melakukan *resetting* kembali.

b. Penelitian tidak mengikan kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB V

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Besar nilai rasio CT ideal yang digunakan untuk trafo Gardu Induk Pasir Putih pada sisi primer (150 kV) adalah 300:5 A dan pada sisi sekunder (22 kV) adalah sebesar 2000:5 A.

Rasio CT ini dipilih berdasarkan arus nominal (I_n) pada CT sisi 150 kV yang didapat sebesar 230,94 A dengan besar *error mismatch* pada CT₁ yaitu 0,1953% sedangkan arus nominal (I_n) pada CT sisi 22 kV yaitu sebesar 1574,6 A dan besar *error mismatch* pada CT₂ yaitu 1,0228%.

Perhitungan nilai arus *setting* untuk *uprating* trafo di Gardu Induk Pasir Putih yaitu 0,8719 A. Perhitungan ini didapatkan berdasarkan perhitungan rasio CT pada sisi 150 kV yaitu 300:5 A dan sisi 22 kV yaitu 2000:5 A, arus sekunder CT pada sisi 150 kV yaitu 3,849 A dan sisi 22 kV yaitu 3,9365 A, arus diferensial sebesar 0,0875 A, arus *restrain* (penahan) sebesar 3,8928 A, dan besar nilai slope₁ yaitu 22,4% sedangkan nilai slope₂ yaitu 44,9%.

Besar nilai arus hubung singkat yang disimulasikan di dalam zona proteksi Rele Diferensial untuk *uprating* trafo sisi 22 kV pada Gardu Induk Pasir Putih yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 37711,47 A, gangguan hubung singkat 2 fasa sebesar 32646,53 A serta gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 37658,98 A. Sedangkan besar nilai arus hubung singkat yang disimulasikan di luar zona proteksi Rele Diferensial untuk *uprating* trafo sisi 150 kV pada Gardu Induk Pasir Putih yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 5531,016 A, gangguan hubung singkat 2 fasa sebesar 4788,16 A serta gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 5523,32 A.

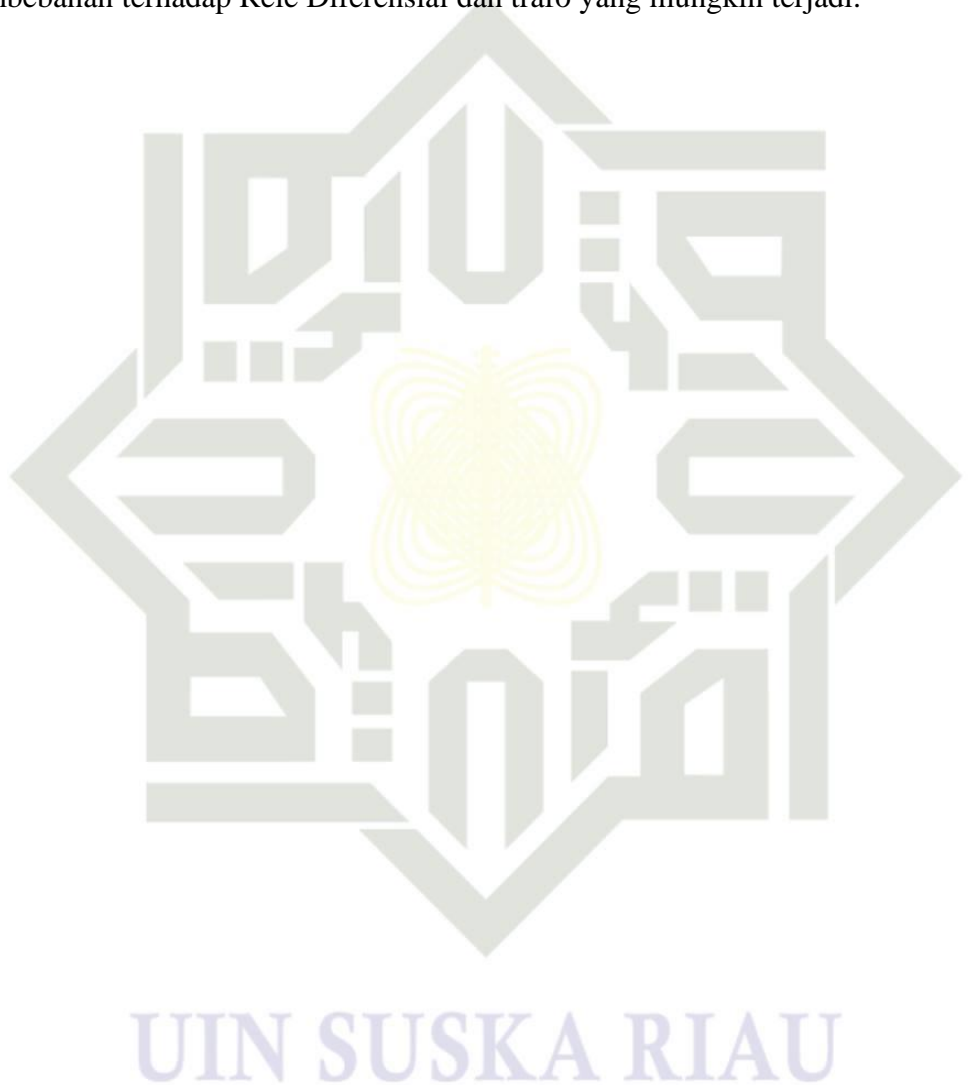
Hasil dari simulasi variasi gangguan hubung singkat terhadap performa Rele Diferensial untuk *uprating* transformator Gardu Induk Pasir Putih sesuai *setting* yang didapat, rele mampu bekerja dengan baik. Rele Diferensial akan aktif ketika membaca *input* arus gangguan yang melebihi nilai *setting* ($I \geq 0.8719$ Ampere) dan dalam waktu kerja yang cepat maka Rele Diferensial akan segera mengirim perintah trip ke *Circuit Breaker*. Jika rele tidak melebihi garis kurva karakteristik saat terjadi gangguan hubung singkat maka rele tidak akan bekerja.

Saran

Adapun saran dari tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan analisis terhadap keandalan dari nilai *setting* Rele Diferensial yang telah didapat ketika trafo sudah beroperasi.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan perubahan nilai konfigurasi pembebanan terhadap Rele Diferensial dan trafo yang mungkin terjadi.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Tidak diperkenankan untuk menyalin, menduplikasi, atau menyebarkan sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [2] L. Adam, 'Dinamika sektor kelistrikan di Indonesia: kebutuhan dan performa penyediaan', *J. Ekon. dan Pembang.*, vol. 24, no. 1, pp. 29–41, 2016.
- [3] A. Pradonggo, A. Atmam, and U. Situmeang, 'Studi Perencanaan Setting Rele Proteksi Pada Saluran Transmisi 150 KV Pada Gardu Induk (GI) Pasir Putih PT.PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru', *J. Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 73–80, 2017.
- [4] H. Asman, H. Eteruddin, and A. Arlenny, 'Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti–Pasir Putih Menggunakan PSCAD', *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2018.
- [5] Hasbullah, 'Analisis Up Rating Transformator Distribusi al-63', *Semin. Nas. Electr. Informatic, It's Educ.*, vol. A1, no. 62, pp. 62–65, 2009.
- [6] A. Soeprijanto, 'Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2', *Tek. Elektro Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya*.
- [7] N. Amin, 'Sistem Proteksi Generator Turbin Uap (Studi Kasus: Pabrik Gula Camming)', *MEKTEK*, vol. 14, no. 1, 2012.
- [8] I. D. G. Agung Budhi Udiana, I. G. Dyana Arjana, and T. G. Indra Partha, 'Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) Dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Recloser Di Saluran Penyulang Penebel', *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 37, Aug. 2017, doi: 10.24843/MITE.2017.v16i02p07.
- [9] A. Sidik, 'Analisa Kerja Rele Diferensial Pada Trafo 60 MVA Di Gardu Induk Wonosari 150 kV'. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [10] M. R. Muharam, 'Analisis Performa Relay Differensial Transformator Pada Gardu Induk Cilegon Lama', 2018.
- [11] P. Lumban Tobing, 'Studi Analisa Sistem Proteksi Trafo 150 KV Daya 60 MVA Menggunakan Rele Diferensial Pada Gardu Induk Tebing Tinggi', 2019.
- [12] V. Beloti, *Calculating Short - Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2011.
- [13] V. B. Saputra, 'Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik Di Kso Pertamina Ep–Geo Cepu Indonesia Distrik 1 Kawangan Menggunakan Software Etap 12.6'. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- [14] A. Amira and A. Effendi, 'Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Pada Sutt 150 kV Untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP-Pauh Limo)', *J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2014.
 - [15] H. Setijasa, 'Pengujian Relay Differensial GI', *Eksergi*, vol. 9, no. 2, 2013.
 - [16] I. R. Wahyudi, 'Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik', *Jur. Tek. Elektro, Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2004.
 - [17] I. K. F., 'Penerapan Rele Differensial di Transformator 30 Mva', *J. Ampere*, vol. 1, no. 2, pp. 60–69, 2016, doi: 10.31851/ampere.v1i2.902.
 - [18] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, Y. Yusniati, and M. Arfianda, 'Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk', *Ready Star*, vol. 2, no. 1, pp. 179–186, 2019.
 - [19] D. Hariyono, 'Analisa Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Eksternal Transformator', *Saintek ITM*, vol. 32, no. 2, 2019.
 - [20] Y. Yusmartato, R. Nasution, and A. Armansyah, 'Menentukan Setting Rele Differensial Pada Bus-Bar Di Gardu Induk Paya Pasir Medan', *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 47–52, 2019.
 - [21] A. Fauzi, G. D. Arjana, and C. G. I. Partha, 'Perancangan Sistem Pengaman Busbar 150 kV Menggunakan Rele Diferensial Di Gardu Induk Sanur', *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 2, pp. 101–108, 2020.
 - [22] I. M. D. C. Jaya, I. G. D. Arjana, and A. A. G. M. Pemayun, 'Studi Koordinasi Kerja Rele Diferensial dan Rele Restricted Earth Fault Setelah Uprating Pada Transformator II di GI Kapal', *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 1, pp. 49–54.
 - [23] Z. Zulkarnaini and F. Hafni, 'Studi Analisa Rele Differensial Pada Proteksi Transformator 60 MVA Gardu Induk Pauh Limo', *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 79–86, 2020.
 - [24] N. B. Dharmawan, W. G. Ariastina, and A. A. N. Amrita, 'Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay Pada Saluran Transmisi 150 kV', *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, pp. 152–160, 2020.
 - [25] S. S. Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga*, vol. 1. UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema, 2018.
 - [26] S. dkk Muslim, *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. 2008.
 - [27] Sumanto, *Teori Transformator*, Andi Offse. Yogyakarta: Andi Offset, 1991.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- a. A. Kadir, *Transformator*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 2000.
 - b. PT. PLN (Persero) P3B, *Buku Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: PT. PLN (Persero) P3B, 2003.
 - c. Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB Press. Bandung, 1991.
 - d. Ridwan, 'Analisis Arus Setting Terhadap Sistem Proteksi Relai Diferensial Pada Transformator Gardu Induk Salu Allo Kecamatan Sanggala Kabupaten Tana Toraja', Universitas Muhammadiyah Makassar, 2019.
 - e. A. Khoirul, 'Simulasi dan Analisis Sistem Proteksi Differential Relay Main Transformer (87 GT) Pada PLTP Unit 5 (Lima) PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang dengan Software ETAP 12.6', Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018.
 - f. International Standard, *IEC 60909-0:2001*. International Electrotechnical Commission, 2001.
 - g. J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, *Power system analysis & design, SI version*. Cengage Learning, 2012.
 - h. SPLN 52-3, *Pola Pengaman Sistem Bagian Tiga, Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1983.
 - i. A. S. Dewangga, 'Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih, Diferensial Dan Ground Fault Pada PT. Linde Indonesia, Cilegon', Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
 - j. D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, Edisi II. Jakarta: Erlangga, 2011.
 - k. T. R. Firdausi, 'Setting Differential Relay Transformer (87T) Dengan Pertimbangan Vector Group Pada PLTU Tenayan 2x110 MW'. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
 - l. I. Operation Technology, *ETAP 12.6.0 User Guide*. Operation Technology, Inc., 2014.
 - m. PT. PLN (PERSERO) UIP3B. Data Hubung Singkat Sumbagteng. Sumatera: PT. PLN (PERSERO) UIP3B 2021.

LAMPIRAN A

SURAT IZIN PENELITIAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



PLN
UIP3B SUMATERA
UPT PEKANBARU

Nomor : 0487/STH.01.04/C24070000/2021
Lampiran : 2 Lembar
Sifat : Segera
Hal : Konfirmasi Penelitian

29 April 2021

Kepada

Yth. Universitas Islam Negeri Sultan
Syarif Kasim Riau
Fakultas Sains Dan Teknologi
JL. HR. Soebrantas Km.18 No.
155 Tuahmadani Tampan -
Pekanbaru

Menunjuk surat dari Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Nomor :

1. Un.04/F.V/PP.00.9/3805/2021 Tanggal 16 April 2021 Perihal Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir/Skripsi An. Rezki Asril
2. Un.04/F.V/PP.00.9/3432/2021 Tanggal 16 April 2021 Perihal Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir/Skripsi An. Fadhlillah Benedicto

Dengan ini disampaikan bahwa mahasiswa tersebut dapat melakukan pengambilan data di PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Pekanbaru ULTG Pasir Putih dengan ketentuan melampirkan hasil **Rapid Antigen**.

Demikian disampaikan, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

MANAGER UNIT PELAKSANA
TRANSMISI PEKANBARU,



 ARIS SOPAN HIDAYAT

Tembusan:

- PLT MUL ULTG PASIR PUTIH ULTG PASIR PUTIH

LAMPIRAN B

HASIL WAWANCARA

B.1 Tabel Hasil Wawancara Studi Pendahuluan

Hari/Tanggal : Senin / 22 Februari 2021

Pukul/Tempat : 14.00 WIB / ULTG Gardu Induk Pasir Putih

No.	Peneliti	Narasumber
1.	Apakah analisis penyetelan Rele Diferensial sangat penting dilakukan pak?	Analisis penyetelan Rele Diferensial ini penting dilakukan untuk mencegah kegagalan proteksi khususnya pada trafo. Rencananya tahun 2021 ini kami akan melakukan <i>uprating</i> trafo dari 30 MVA menjadi 60 MVA. Penting dilakukannya penyetelan Rele Diferensial dengan nilai yang tepat agar trafo tidak terjadi kerusakan yang parah sehingga penyaluran energi tetap berlangsung dengan baik.
2.	Gangguan apa yang sering terjadi pak?	Gangguan yang sering terjadi pada trafo biasanya gangguan yang diakibatkan oleh petir, badai yang mengenai kabel. Sehingga menyebabkan arus hubung singkat yang tinggi.
3.	Sejauh ini apakah ada upaya PLN untuk mengatasi masalah ini pak?	Saat ini, beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) GI Pasir Putih dalam melakukan perencanaan <i>setting</i> Rele Diferensial untuk <i>uprating</i> trafo 60

Hak Cipta D
1. Dilarang
a. Pengu
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

atau masalah.


		<p>MVA adalah dengan melakukan perhitungan secara matematis untuk mendapatkan nilai <i>setting</i>nya dan melakukan pengujian nilai <i>setting</i> yang telah didapat pada trafo dengan cara memberikan <i>secondary injection</i> (injeksi tambahan), yaitu injeksi arus tambahan untuk menganalisa aliran daya yang terjadi serta berfungsi sebagai pengujian nilai <i>setting</i> Rele Diferensial yang telah didapatkan apakah sudah tepat.</p>
--	--	---

Pekanbaru, 30 Maret 2021

Mengenalai,

Hormat Saya,


 Andreas F. Purba
 Supervisor ULTG Pasir Putih


 Fadhlillah Benedicto
 Mahasiswa UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

tanpa mencantumkan dan menuliskan sumber: penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

LAMPIRAN C

DATA PENGHANTAR

NO	GI	BAY	MERK	TYPE	MODEL NUMBER	NO.SERI
1	PASIR PUTIH	KOTOPANJANG	GE	D60	D60N03HKHF8LH6PM6PP6CUXXWXX	AABC10001368
2	PASIR PUTIH	BANGKINANG	GE	D60	D60N03HKHF8LH6PM6PP6CUXXWXX	AABC10001369
3	PASIR PUTIH	PANGKALAN KERINCI	SCHNEIDER	P442	P44221AB6M0558K	36146059 / 01 / 12
4	PASIR PUTIH	TELUK LEMBU	SCHNEIDER	P442	P44221AB6M0558K	36146057 / 01 / 12
5	PASIR PUTIH	BALAI PUNGUT	AREVA	P442	P442212B3M0300J	2785874 / 10 / 07
6	PASIR PUTIH	NEW GARUDA SAKTI	ALSTOM	P442	P44231BB6M0360J	31753408/05/11

LAMPIRAN D

DATA ARUS HUBUNG SINGKAT

DATA ARUS HUBUNG SINGKAT UPT PEKANBARU

*Digsilent 15 Januari 2021

Gardu Induk	Isc (Amp)		Positive Seq. (pu)		Negative Seq. (pu)		Zero Seq. (pu)	
	1phs	3phs	R1	X1	R2	X2	Ro	Xo
Garuda Sakti	18358	15947	0.00386	0.02562	0.00431	0.02626	0.00171	0.0144
Teluk Lembu	16053	14557	0.00422	0.02795	0.0047	0.02872	0.00239	0.01892
Bangkinang	7171	7739	0.00957	0.05205	0.00995	0.05276	0.00986	0.06151
Koto Panjang	10254	9862	0.0072	0.04077	0.00759	0.04162	0.00285	0.03418
Duri	7456	7449	0.01215	0.05628	0.01267	0.05581	0.00889	0.0552
Dumai	5120	4835	0.0201	0.08698	0.02058	0.08654	0.00675	0.06986
Bagan Batu	4546	4695	0.02645	0.08765	0.02671	0.0875	0.01362	0.09543
Kota Pinang	4697	4822	0.02693	0.08525	0.02714	0.08524	0.01448	0.09089
Balai Pungut	11943	10266	0.00598	0.04089	0.00663	0.04033	0.00115	0.0235
Tenayan	18789	16127	0.00326	0.02543	0.00374	0.02617	0.00129	0.01342
Pasir Putih	14390	15915	0.0038	0.02569	0.00425	0.02634	0.00194	0.01516
Pangkalan Kerinci	8190	9737	0.00747	0.04199	0.00784	0.04255	0.01065	0.06471
Perawang	14301	13130	0.00413	0.03131	0.00459	0.03195	0.00238	0.02200
New Garuda Sakti	14110	13905	0.00429	0.02955	0.00473	0.03009	0.00489	0.02701
Pasir Pangaraian	2655	2450	0.04119	0.16344	0.04158	0.16417	0.00935	0.12111
Bagan Siapi-api	2820	3060	0.03429	0.1378	0.03477	0.13735	0.02505	0.17814
KID	3780	3644	0.02803	0.1152	0.0285	0.11475	0.01097	0.09977
WINA	3764	3631	0.02814	0.11562	0.02862	0.11517	0.01101	0.10034
Siak	4413	5051	0.01271	0.08131	0.01318	0.08194	0.01936	0.11566
PLTGU RIAU	18992	16235	0.00324	0.02527	0.00372	0.02597	0.00114	0.01315



BIOGRAFI PENULIS

Fadhilillah Benedicto dilahirkan di Kota Pekanbaru - Riau, pada 08 Oktober 1999. Anak pertama dari kembar tiga bersaudara yang merupakan putra dari pasangan Bapak Benny Hendra A.Md dan Ibu Nurlianti, yang beralamat di Jl.Swakarya VII Perumahan Hawitra Garden Kav.18 RT.002/RW.005, Kelurahan Tuah Karya, Kecamatan Tampan, Pekanbaru-Riau. Jenjang pendidikan dimulai di TK Aisyiyah Bustanul Athfal Sibolga 2004 - 2005, kemudian melanjutkan pendidikan ke sekolah dasar SDN Duri Kosambi 10 Pagi Jakarta Barat dan tamat pada tahun 2011, lalu setelah itu melanjutkan ke jenjang Pendidikan selanjutnya di SMP Negeri 8 Pekanbaru dan tamat pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 12 Pekanbaru pada tahun 2014 dan tamat pada tahun 2017. Setelah lulus dari SMA Negeri 12 Pekanbaru kemudian melanjutkan pendidikan perkuliahan di UIN SUSKA RIAU pada Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Energi. Pada tanggal 28 Juli 2021 dinyatakan lulus dengan judul Tugas Akhir **“Analisa Penyetelan Rele Diferensial Sebagai Sistem Proteksi Untuk Penambahan Kapasitas Trafo 60 MVA di Gardu Induk Pasir Putih”** dan berhak menyandang gelar Sarjana Teknik melalui sidang tertutup Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.